

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»
УДК 621.43.056:632.15

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Геннадій ВАРЛАМОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

“ _____ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: Застосування інноваційної мікрофакельної технології газоспалювання
для підвищення енерго-екологічної ефективності котла КВГМ-20

Виконав: студент ІІ курсу, групи ТП – 81 мн

_____ МУХІН Михайло Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник зав. кафедри, д.т.н., проф., Геннадій ВАРЛАМОВ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище) (підпис)

Консультант з мат. моделювання к.т.н., доц. Андрій СОЛОМАХА _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я, прізвище) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

ОНП «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Геннадій ВАРЛАМОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

«___» _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Мухіну Михайлу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Застосування інноваційної мікрофакельної технології газоспалювання для підвищення енерго-екологічної ефективності котла КВГМ-20

наук. керівник дисертації Варламов Геннадій Борисович, д.т.н., проф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «16» березня 2020 р. № 863-с

2. Термін подання студентом дисертації 15.05.2020 р.

3. Об'єкт дослідження Процеси факельного спалювання природного газу у топках водогрійних котлів КВГМ-20

4. Предмет дослідження Вплив конструктивних особливостей пальника на енерго-екологічні показники роботи котла КВГМ-20

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

5.1. Визначити основні конструктивні та аеродинамічні характеристики штатної пальникової системи котла КВГМ-20;

5.2. Провести дослідження аеродинамічних та теплових процесів штатної і мікрофакельної пальникових систем у складі котла з використанням моделей;

5.3. Визначити оптимальні умови газоспалювання у мікрофакельному пальнику;

5.4. Провести розробку конструкції пальника та визначити основні енерго-екологічні показники роботи котла з використанням мікрофакельного пальника

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу :

6.1. Загальний вигляд котла КВГМ-20 та штатного пальника;

6.2. Модель топки котла, штатного та мікрофакельного пальників;

6.3. Кольорове графічне представлення результатів моделювання аеродинамічних та сумішеутворюючих процесів у топці котла з різними пальниками.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

Саття у фаховому журналі; тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Мат. моделювання	Андрій СОЛОМАХА, доцент		

9. Дата видачі завдання 13.03.20 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Літературний огляд	20.03.20 р.	
2	Визначення конструктивних та аеродинамічних характеристик штатної пальникової системи котла КВ-ГМ-20	04.04.20 р.	
3	Моделювання аеродинаміки та теплових процесів в топці котла зі штатним пальником	12.04.20 р.	
4	Моделювання аеродинаміки та теплових процесів в топці котла з мікрофакельним пальником	18.04.20 р.	
5	Умови утворення та емісії оксидів азоту в топці котла КВ-ГМ-20	27.04.20 р.	
6	Енерго-екологічні показники роботи котла КВ-ГМ-20 з пальником МГП-20	04.05.20 р.	
7	Розробка стартап-проекту	10.05.2020 р.	
8	Оформлення та подання дисертації	15.05.2020 р.	

Студент

_____ (підпис)

Михайло МУХІН
(ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Геннадій ВАРЛАМОВ
(ім'я, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-науковою програмою підготовки на тему «Застосування інноваційної мікрофакельної технології газоспалювання для підвищення енерго-екологічної ефективності котла КВГМ-20»: 86 с., 31 рис., 26 табл., 5 дод., 25 джерел.

Об'єкт дослідження – процеси факельного спалювання природного газу у топках водогрійних котлів КВГМ-20.

Мета роботи – на основі комплексного аналізу та моделювання процесів сумішоутворення природного газу та повітря у штатному та мікрофакельному пальникових пристроях котла КВГМ-20 розробити технічні рішення покращення енергетичної ефективності та рівня екологічної чистоти роботи котла.

В роботі на основі результатів літературного огляду за напрямком досліджень, моделювання на 3D-моделі та натурних випробувань доведено недосконалість процесів сумішоутворення, суттєву нерівномірність розподілу швидкостей та теплових потоків у топці котла і, як наслідок, низький рівень енергоефективності та екологічної чистоти енергоперетворення при роботі штатного реєстрового пальника, розглянуто економічні та екологічні передумови та доцільність використання нових газоспалювальних технологій.

Запропоновано для використання в даному котельному агрегаті унікальну уніфіковану і універсальну інноваційну мікрофакельну технологію спалювання газоподібного палива з високим рівнем енергоефективності та екологічної чистоти. За результатами проведеного моделювання та експериментів отримано аналітичні та емпіричні характеристики аеродинамічних і теплових особливостей роботи топки котла КВГМ-20 з пальниковою системою на базі мікрофакельної технології, які свідчать про наявність комплексу позитивних ефектів.

Отримані результати дозволяють з використанням мікрофакельної технології газоспалювання підвищити рівень ефективності та екологічної безпеки експлуатації з одночасним подовженням робочого моторесурсу котла за рахунок здійснення короткострокової і маловитратної модернізації його пальникової системи.

На базі запропонованих рішень розроблено стартап-проект, щодо застосування мікрофакельної технології в умовах українського енергоринку.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: водогрійний котел, газовий пальник, мікрофакельна технологія спалювання, екологічна безпека, енерго-екологічна ефективність.

ABSTRACT

Master's thesis for obtaining a Master's degree in an educational and scientific training program on the topic: “Application of innovative micro-flare gas combustion technology to increase the energy-environmental efficiency of the KVGM-20 boiler”: 86 p., 31 figures, 26 tables, 5 appendixes, 25 sources.

The object of study is the processes of micro-flare combustion of natural gas in the furnaces of boilers KVGM-20.

The purpose of the work is to develop technical solutions for improving energy efficiency and the level of ecological cleanliness of the boiler operation on the basis of complex analysis and modeling of natural gas and air mixing processes in standard and micro-flare burners of KVGM-20 boiler.

Based on the results of literature review in the field of research, 3D modeling and field tests, the imperfection of mixing processes, significant uneven distribution of velocities and heat flows in the boiler furnace and, as a consequence, low energy efficiency and environmental cleanliness of energy conversion burner, economic and ecological preconditions and expediency of using new gas combustion technologies are considered.

A unique unified and universal innovative micro-flare technology of gaseous fuel combustion with a high level of energy efficiency and ecological cleanliness is offered for use in this boiler unit. According to the results of modeling and experiments, analytical and empirical characteristics of aerodynamic and thermal features of the KVGM-20 boiler furnace with a burner system based on micro-flare technology were obtained, which indicate the presence of a set of positive effects.

The obtained results allow to increase the level of efficiency and ecological safety of operation with the use of micro-flare gas combustion technology with simultaneous extension of the working motor resource of the boiler due to short-term and low-cost modernization of its burner system.

Based on the proposed solutions, a startup project has been developed for the application of micro-flare technology in the Ukrainian energy market.

KEYWORDS: hot water boiler, gas burner, micro-flare combustion technology (MTC), environmental safety, energy and environmental efficiency.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на соискание степени магистра по образовательно-научной программе подготовки на тему «Применение инновационной микрофакельной технологии газосжигания для повышения энерго-экологической эффективности котла КВГМ-20»: 86 с., 31 рис., 26 табл., 5 доп., 25 источников.

Объект исследования - процессы факельного сжигания природного газа в топках водогрейных котлов КВГМ-20.

В работе на основе результатов литературного обзора по направлению исследований, моделирования на 3D-модели и натурных испытаний доказано несовершенство процессов смесеобразования, существенную неравномерность распределения скоростей и тепловых потоков в топке котла и, как следствие, низкий уровень энергоэффективности и экологической чистоты энергопреобразования при работе штатного регистрирующего горелки, рассмотрены экономические и экологические предпосылки и целесообразность использования новых газоспалывальных технологий.

Предложено для использования в данном котельном агрегате уникальную унифицированную и универсальную инновационную микрофакельную технологию сжигания газообразного топлива с высоким уровнем энергоэффективности и экологической чистоты. По результатам проведенного моделирования и экспериментов получены аналитические и эмпирические характеристики аэродинамических и тепловых особенностей работы топки котла КВГМ-20 с горелкой системой на базе микрофакельной технологии, свидетельствующие о наличии комплекса положительных эффектов.

Полученные результаты позволяют с использованием микрофакельной технологии газосжигания повысить уровень эффективности и экологической безопасности эксплуатации с одновременным удлинением рабочего моторесурса котла за счет осуществления краткосрочной и малозатратной модернизации его горелочной системы.

На базе предложенных решений разработан стартап-проект по применению микрофакельной технологии в условиях украинского энергорынка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водогрейный котел, газовая горелка, микрофакельная технология сжигания, экологическая безопасность, энерго-экологическая эффективность.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень, термінів	8
Вступ	9
1 Проблеми та перспективи газоспалювання об'єктами комунальної теплоенергетики України і задачі досліджень	10
1.1 Стан та особливості роботи газової комунальної теплоенергетики України	11
1.2 Аналіз ефективності і екологічної чистоти спалювання газового палива у топках водогрійних котлів	12
1.3 Завдання дослідження та шляхи його вирішення	15
1.4 Висновки з розділу 1	16
2 Особливості роботи штатної пальникової системи водогрійного котла КВГМ-20	17
2.1 Конструктивні та технологічні характеристики котла КВГМ-20 зі штатною пальниковою системою РГМП-20	17
2.2 Моделювання аеродинамічних та теплових процесів в топці котла зі штатним пальником	25
2.3 Аналіз умов утворення та емісії оксидів азоту у топці котла КВГМ-20	29
2.4 Висновки з розділу 2	34
3 Технічні рішення щодо покращення енерго-екологічних показників експлуатації котла	35
3.2 Основні аеродинамічні, теплові та конструктивні переваги мікрофакельного пальника	50
3.3 Енерго-екологічні показники роботи котла КВГМ-20 з пальником МГП-20	52
3.4 Висновки з розділу 3	59
4 Розробка стартап-проекту	60
4.1 Резюме проекту	60
4.2 Організація проекту	61
4.3 Канва моделі стартап-проекту	62
4.4 Ключові види діяльності проекту	63
4.5 Ціннісні пропозиції та споживачі	65
4.6 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту	69
4.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту	69
4.8 План робіт та партнери стартап-проекту	71
4.9 Грошовий потік та економічна оцінка стартап-проекту	72
4.10 Висновки з розділу 4	74
Висновки	75

Список використаної літератури	76
Додаток А	
Технічне завдання на проектно-конструкторську розробку.....	79
Додаток Б	
Акт впровадження результатів магістерської дисертації.....	80
Додаток В	
Режимні карти роботи котла КВГМ-20 №8 КТМ РК «ВЕРКОН» зі штатною пальниковою системою	81
Додаток Г	
Список наукових праць	83
Додаток Д	
Результати перевірки на академічний плагіат.....	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Умовні позначення

Q – тепловий потік, кількість теплоти;;

G – масова витрата;

t – температура;

V - об'ємна витрата;

w – швидкість;

f – площа;

n – кількість;

d – діаметр;

α - коефіцієнт надлишку повітря;

C - масова концентрація;

Індекси

Нижні:

г – природний газ;

пов – повітря;

пр. зг – продукти згорання;

мв – мережна вода;

н – нормальні умови.

Верхні:

к – кінетична подача;

д – дифузійна подача.

Скорочення

ЖКГ – житлово-комунальне господарство;

РК – районна котельня;

КВГМ – котел водогрійний газомазутний;

КТМ – Київські теплові мережі;;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

РГМП – ротаційний газомазутний пальник;

МГП – мікрофакельний газовий пальник.

ВСТУП

Наша реальність полягає в тому, що в централізованому теплопостачанні великих міст газові водогрійні котли працюватимуть ще мінімум 20 років. В Україні в системах централізованого теплопостачання встановлено близько сотні котлів серії ПТВМ, і ще більше котлів серії КВГМ. Технічний стан обладнання є однією з найбільш гострих проблем у житлово-комунальному комплексі України [1]. Практично все використовуване обладнання давно відпрацювало свій паспортний термін експлуатації, і не відповідає сучасним екологічним і економічним вимогам, набагато відстало від технічного рівня в цій області, що спричиняє як надмірну перевитрату газу, так і невиправдані втрати теплоносія, завдаючи при цьому відчутної шкоди повітряному басейну населених пунктів. У великих комунальних та промислових котельнях експлуатуються водогрійні котли серій КВГМ (10, 20, 30, 50, 100 і 180) і ПТВМ (30, 50, 100, 180). Вони випускалися і випускаються на Дорогобузькому котельному заводі, на Бійському котельному заводі, на Білгородському «Енергомаш» в Російській Федерації, починаючи з 1960 р. Повний термін експлуатації котлів заводи декларують у 20 років.

Для парових та водогрійних котлів встановлені відомі вимоги до палинкових систем, а саме: універсальність, надійність, стійкість запалювання і стабілізація фронту горіння в широких робочих діапазонах навантажень, забезпечення сумішоутворення заданої інтенсивності, забезпечення повноти згорання газу при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря, ремонтпридатність, висока енерго-екологічна ефективність, незначний термін проведення модернізації та окупності.

Водночас з ефективністю газоспалювання, питання захисту довкілля також набуває все більшої актуальності та пріоритетності. Однією з основних забруднюючих речовин атмосферного повітря є оксиди азоту. Відсутність в Україні установок азотоочищення на більшості підприємств, де у технологічному процесі утворюються відхідні гази, що містять оксиди азоту, призводить до значних викидів його в атмосферу. Під впливом введення нормативно-правових документів [2] євроінтеграційне спрямування розвитку України ставить задачу відповідності екологічним стандартам Європейського Союзу (ЄС), у якому гранично допустимі концентрації викидів оксидів азоту та інших шкідливих компонентів у відхідних газах нормуються згідно Директиви 2001/80/ЄС [3] про промислові викиди та впровадження технологій безвідходного виробництва.

Перераховані вимоги та норми стали основною ідеєю написання магістерської дисертації з розробленням палинкової системи для газових водогрійних котлів, що й відображено в технічному завданні на проектно-конструкторську розробку (див. додаток А).

1 ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ГАЗОСПАЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Важливою умовою енергетичної безпеки України є зменшення залежності країни від імпорту енергоносіїв. Тому політика енергозбереження в умовах постійного зростання вартості енергоресурсів є одним із пріоритетних напрямків розвитку міст та регіонів України. Значна частина потенціалу енергозбереження припадає на житлово-комунальний сектор, що зумовлено відносно швидкою окупністю і належною віддачею вкладених в енергозбереження невеликих за обсягом грошових коштів. Ці витрати є значно меншими порівняно із запропонованими витратами на нарощування обсягів виробництва енергоносіїв. За висновками спеціалістів, потенціал енергозбереження у 2030 році становитиме близько 60 % від необхідного енергоспоживання у суспільному виробництві та житлово-комунальній сфері [1].

Сьогодні Україна володіє достатніми комунальними енергетичними потужностями, однак велику їх частку складає застаріле, технічно зношене обладнання та устаткування. Це спричиняє загострення комплексу проблем у житлово-комунальному господарстві (ЖКГ), які негативно впливають на рівень енергетичної та екологічної безпеки країни і на якість життя населення.

Сектор ЖКГ в Україні споживає 44% всіх енергоресурсів країни, лівова частка яких припадає на природний газ. Рівень забезпечення України власним «блакитним» паливом становить лише 37 %, решта – експорт із Росії та Туркменістану. З 2001-го по 2010 рік ціна на природний газ для України зросла в п'ятеро і становить сьогодні 246 дол. за 1000 кубометрів, всього 14 млрд кубометрів споживає галузь щороку [4]. За рівнем споживання природного газу наша країна посідає шосте місце у світі після США, Росії, Великобританії, Німеччини та Канади.

Питання підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження та надійності теплових мереж житлово-комунального господарства вже тривалий час є предметом дослідження багатьох науковців не тільки України, а й усього світу. Зокрема роботи [4-7] дозволяють оцінити перспективи розвитку енергоспоживання та шляхи розвитку енергетики в країнах ЄС. Дані цих досліджень можна застосувати для порівняння секторів централізованого теплопостачання країн Європи та України для можливого застосування європейського досвіду в енергозбереженні. Незважаючи на це, більшість проблем теплопостачання в Україні залишаються невирішеними, що вимагає подальших досліджень у даній галузі.

1.1 Стан та особливості роботи газової комунальної теплоенергетики України

Основними джерелами енергії для виробництва теплової енергії ЖКГ в Євросоюзі є природний газ (43%), вугілля (29,3%), біомаса (15,1%), нафта (7,1%), атомна енергія (0,2%), інші джерела (5,3%) [8]. Системи теплопостачання на європейському ринку використовують ресурси достатньо ефективно: 81% теплової енергії виробляється з використанням відходів теплової енергії від технологічних процесів (наприклад, комбінованого використання теплової й електричної енергії) і відновлювальних джерел енергії; 19% – за рахунок прямого використання біомаси та органічного палива (для пікових потреб). Згідно з [6, 8], частки виробленої теплової енергії за рахунок використання вторинної теплової енергії останніми десятиліттями були найбільшими (68-91,2%) у Румунії, Німеччині, Швейцарії, Словенії, Данії, Польщі, Чеській Республіці. За даними [6, 8] частки виробленої теплової енергії на прямому використанні відновлювальних джерел складали в Латвії - 42%, Норвегії - 32%, Швеції - 26%, в Австрії, Естонії, Данії, Литві - на рівні 17-23%. В Ісландії частка прямого використання відновлювальних джерел енергії для теплопостачання (геотермальних вод) склала 78,9%.

Україна ж у 2018 році збільшила споживання природного газу на 1,3% (0,4 млрд м³) в порівнянні з 2017 роком - до 32,3 млрд м³. Про це йдеться в даних національної акціонерної компанії «Нафтогаз України» [9].

У зв'язку з набранням чинності постанови Кабінету Міністрів України №867 та враховуючи, що до складу структури тарифів на централізоване опалення та централізоване постачання гарячої води включається вартість теплової енергії на сьогодні питома вага витрат на паливо (природний газ), покупну теплову енергію, собівартість виробництва теплової енергії власними енергооб'єктами ЖКГ у структурі середньозваженого тарифу на теплову енергію для потреб населення складає більше 86%, а у випадку централізованого опалення та гарячого водопостачання складає, відповідно, 99% та 89% (див. рисунок 1.1) [9, 10].



Рисунок 1.1 – Структури середньозважених тарифів на теплову енергію за категоріями споживачів у 2017 – 2018 роках, грн/Гкал (без податку на додану вартість)

1.2 Аналіз ефективності і екологічної чистоти спалювання газового палива у топках водогрійних котлів

Питання реконструкції та модернізації котельного обладнання є затребуваним. В Україні існує значна кількість об'єктів тепlopостачання, які демонструють не тільки фізичне, але і моральне старіння: встановлене теплоенергетичне обладнання відпрацювало свій ресурс і потребує заміни.

Разом з тим, закупівля нового обладнання потребує численних грошових вкладень, а вибір маловитратної реконструкції або модернізації є оптимальним як з економічної, так і з технічної точки зору: підвищується надійність, екологічність показників роботи обладнання та промислова безпека, крім цього досягається високий рівень енергозбереження [11].

В умовах розвитку економіки проблема економії палива та скорочення витрат на виробництво є найбільш актуальною. В кінці 20 початку 21 століття частка виробничих підприємств, що використовують природний газ як основне паливо для виробництва значно зменшилась. Проте в розвинутих країнах світу і в Україні зокрема постає актуальною проблема економії природного газу на об'єктах ЖКГ, а для цього необхідний правильний вибір пальникових пристроїв. Саме від правильного вибору пальникового пристрою залежить економія палива в технологічному процесі.

Водогрійні котли є найпоширенішими джерелами теплової потужності. Підтримка теплового навантаження в нашій країні здійснюється в основному за допомогою водогрійних котлів пострадянського виробництва, які прості в експлуатації і відносно дешеві. Водогрійні котли призначаються для підігріву води, що надходить на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Існуючі водогрійні котли розраховані на підігрів води від 70°C до 150°C і задовольняють поширеному графіку роботи теплофікаційної системи [12].

В даний час на водогрійних котельнях використовується велика кількість котлів типу КВГМ. Даний тип котла використовується і на КТМ РК «ВЕРКОН», м. Київ. Через встановлений на ньому пальник застарілої конструкції РГМП-20 котельний агрегат КВГМ-20 №8 має ряд недоліків і не відповідає сучасним вимогам. До числа таких недоліків, значення яких наведено в режимних картах роботи котла (див. додаток Б), належать:

- знижений коефіцієнт корисної дії котельного агрегату;
- робота пальників з підвищеним надлишком повітря;
- невідповідність екологічним нормам щодо викидів оксидів азоту NO_x .

На РК «ВЕРКОН» в якості основного палива використовується природний газ і в якості додаткового палива використовується мазут.

Тому для усунення зазначених вище недоліків і підвищення ефективності роботи котельного агрегату необхідно встановити на котли КВГМ-20 високоефективні пальникові пристрої, що відповідають сучасним вимогам:

- ефективне спалювання палива (практично повна відсутність хімічного і механічного недопалу при помірному коефіцієнті надлишку повітря в топці);
- стійкість горіння;
- зручність розпалу й регулювання (сучасні пальники повинні забезпечувати зміну теплопродуктивності в широких межах);
- відсутність сильного шуму і вібрації (ці фактори не тільки створюють негативний вплив на обслуговуючий персонал, а й можуть стати причиною руйнування елементів котла в разі, якщо коливання стовпа гарячих продуктів згоряння потрапляють в резонанс з власною частотою коливання пальника);
- безпека і довговічність в роботі: вихідні частини пальників не повинні обгорати через високу температуру факела.

Встановлення сучасних пальникових пристроїв допоможе досягнути зниження витрати палива, витрат електроенергії, зменшення шкідливих викидів та збільшення загального коефіцієнта корисної дії обладнання.

Разом з покращенням економічності процесів газоспалювання останніми роками, особливо після ухвалення Закону України «Про охорону атмосферного повітря», місцеві органи санітарно-гігієнічного нагляду, а також контролюючі організації Міністерства охорони навколишнього природного середовища України посилили контроль за дотриманням підприємствами норм гранично допустимих викидів. Окрім того, починаючи з 1992 року, введено плату за викиди [13]. Це змушує керівників підприємств, до складу яких входять енергетичні установки, піклуватися не лише про надійність їх роботи, а й вживати природоохоронних заходів, що знижують викиди токсичних та інших забруднювальних речовин.

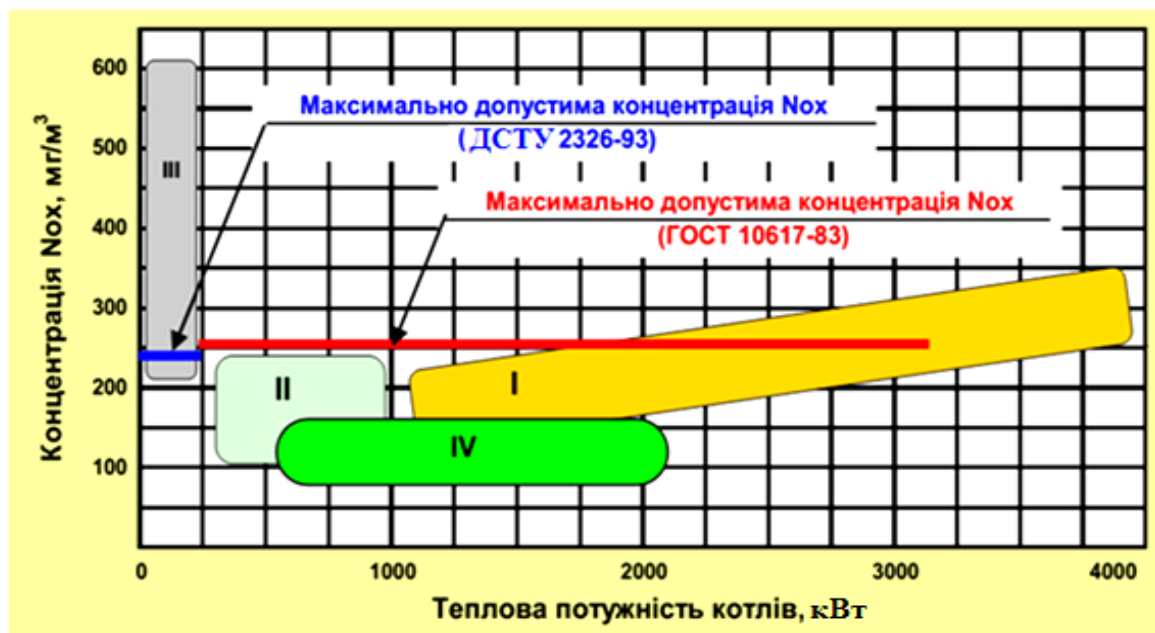
Основними забруднювачами довкілля є газоподібні речовини та аерозолі, тверді частинки. Найбільш поширеними газами, що забруднюють повітря, є сірчистий та сірчаний ангідриди, оксиди азоту, аміак, з'єднання фтору, хлору, сірководень, оксид вуглецю і неорганічні вуглеводні.

Маса токсичних речовин, що викидає котел або інший пристрій, що використовує паливо, залежить від складу палива, виду і режиму горіння, методів очищення, стану устаткування та безлічі інших чинників. Для кількісної оцінки викидів використовують як експериментальні, так і розрахункові методи.

Проте з одного боку, органи охорони довкілля вимагають використовувати режимні карти роботи котлів при розробці документів на обсяги викидів, а з іншого – у нас діє дуже значна кількість нормативів по нормах викидів в яких важко розібратись.

Нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із водогрійних котлів раніше встановлювались стандартами: ГОСТ 10617-83, ГОСТ 30735-2001, ДСТУ 2326-93. Ці нормативи не відповідають сучасним вимогам та не визнані технологічними нормативами.

На рисунку 1.2 показано графік, на якому приведені умовні чотири зони концентрацій оксидів азоту на виході із парових та водогрійних котлів теплопродуктивністю від 0,1 до 4,15 МВт, показано максимально допустиме значення концентрацій NO_x для цих котлів, відповідно до нормативів, що діяли на той час (ДСТУ 2326-93, ГОСТ 10617-83).



I – Область концентрацій оксидів азоту в викидах котлів, що змонтовані в попередні періоди ТГВ, КВГ, ДКВР, ДЕ, ВК-22; II – Область концентрацій оксидів азоту в викидах котлів, що змонтовані в попередні періоди НІСТУ-5, Факел, Елга, НІКА; III – Область концентрацій оксидів азоту в викидах котлів, що були встановлені в 90-х – 00-х роках: BOSCH, Protherm, De Dietrich, Therm, Богдан, Фег Вестал, Бонжуані та інші; IV – Сучасні водогрійні котли (Viessman, Buderus, КОЛВІ та ін.) з газовими пальниками від провідних світових виробників (ELCO, Weishaupt, Giersch, Cuenod, Unigas та інші, що мають виконання Low NO_x з низькими викидами оксидів азоту

Рисунок 1.2 – Нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із водогрійних котлів

Аналіз графіка свідчить про те, що концентрації NO_x у викидах котлів, встановленими раніше відповідають нормативам, що діяли на той час. Проте в сучасних умовах такі нормативи є дуже лояльними у порівнянні з європейськими [3].

Значна кількість водогрійних котлів ЖКГ в Україні, обладнаних газовими пальниками, що перевищують викиди NO_x в 2-2,5 рази.

На зміну старим нормативам прийшов Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27.06.2006 N 309 (zareєстровано в Міністерстві юстиції України 1 серпня 2006 р. за N 912/12786) «Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» [14].

На хвилі прагнення України інтегруватися в ЄС у нашій країні стали жорсткішими вимоги до екологічних параметрів роботи об'єктів, що використовують енергетичне паливо (у тому числі й природний газ) для потреб енергетичної галузі в цілому та ЖКГ зокрема.

Під впливом введення нормативно-правових документів [15, 16] та відповідно до Директиви [3] перед підприємствами стоїть завдання модернізації існуючих виробництв із впровадженням установок на енергетичних видах палива з мінімальною кількістю викидів забруднюючих речовин і екологічно чистих джерел енергії.

При спалюванні природного газу єдиним найбільш істотним забруднювачем атмосферного повітря є оксид азоту (його утворюється на 20% менше, ніж при спалюванні вугілля). Оксиди азоту на 95-98% визначають токсичність відхідних газів котлів ЖКГ на природному газі, саме тому ефективна боротьба з ними дозволить підвищити екологічну безпеку та досягнути рівня викидів, зазначених у європейських директивах 100 мг/м^3 [16-18].

1.3 Завдання дослідження та шляхи його вирішення

На основі аналізу вищенаведених даних з перспектив розвитку комунальної енергетики ЖКГ та зростання цін на природний газ і викиди у відхідних газах, очевидним стає той факт, що водогрійні котли серії КВГМ будуть використовуватись ще досить довгий час для потреб теплопостачання та на промислових об'єктах. У зв'язку з тим, що на вітчизняних котельнях переважно встановленні котли зі старими пальниковими системами типу РГМП-20, постає потреба у заміні існуючих пальників на конструкції нового типу та модифікації, що покращать енерго-екологічну ефективність роботи котельного устаткування і дозволить вирішити пов'язані з цим проблеми.

В даній роботі під час досліджень ефективності роботи топки водогрійного котла КВГМ-20 та розроблення технологій підвищення економічності і екологічності його роботи потрібно використовувати поєднання моделювання, експериментальних та аналітичних методів.

Відповідно до сформованих проблем у роботі поставлено наступні завдання:

- аналіз технічного стану, проблем та перспектив розвитку енергооб'єктів ЖКГ України;
- проведення аналізу існуючої пальникової системи РГМП-20 котла КВГМ-20 та пошук шляхів вирішення основних проблем, що виникають при її роботі;
- виконати моделювання аеродинамічних та теплових процесів в топці котла зі штатним пальником для визначення недоліків його роботи;

- здійснити аналіз механізму утворення та емісії оксидів азоту у топці котла КВГМ-20 та знайти можливі шляхи вирішення даної проблеми;

- розробити пальник нової конструкції, що забезпечує: гомогенізацію (однорідність) газоповітряної суміші, малий аеродинамічний опір, горіння близьке до кінетичного, підвищить ефективність спалювання палива в малому топковому об'ємі;

- експериментальне визначення зміни викидів шкідливих речовин у відхідних газах, надлишків повітря та інших показників в топці зі старою та новою пальниковою системою;

- розробити стартап-проект на виготовлення пальників нової конструкції та дати йому економічну оцінку.

1.4 Висновки з розділу 1

1. На підставі аналізу ролі теплоенергетики ЖКГ в Україні та закордоном, особливостей експлуатації водогрійних котлів та їхніх пальникових систем, їх технічного стану і паливної бази обґрунтована необхідність модернізації таких енергооб'єктів на основі нової високоефективної мікрофакельної технології спалювання природного газу.

2. Виконано аналіз ефективності спалювання газового палива у топках водогрійних котлів та визначено цілий ряд недоліків, які впливають на економічність та екологічність процесів спалювання природного газу.

3. Проведено аналіз норм викидів та екологічної ефективності роботи газових водогрійних котлів від минулих років до сьогодення та встановлено, що емісія оксидів азоту на більшості енергооб'єктів де спалюється природний газ приблизно в 2,5 рази перевищує дозволені норми.

4. На основі проведеного аналізу обґрунтовано вибір напрямку роботи, який полягає в комплексному аналізі та визначенні особливостей моделювання процесів сумішоутворення природного газу та повітря в пальникових пристроях котлів КВГМ-20 з метою розробки технічних рішень для покращення його енергетичної ефективності та рівня екологічної чистоти на базі мікрофакельної технології газоспалювання.

2 ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ШТАТНОЇ ПАЛЬНИКОВОЇ СИСТЕМИ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА КВГМ-20

Вирішити проблему підвищення ефективності й економічності виробництва теплової енергії з мінімальними витратами дозволить модернізація пальникової системи котла КВГМ-20 за рахунок маловитратних, економічних та ефективних технологій. Задля цього в даному розділі магістерської роботи потрібно розглянути наступні питання:

- ознайомитись з існуючою технічною документацією;
- провести розрахунок поля швидкостей і концентрацій компонентів по довжині факелу, а також визначити аеродинамічні характеристики штатного пальника РГМП-20 котла КВГМ-20 та виявити можливі недоліки;
- розглянути екологічні аспекти роботи штатного пальникового пристрою РГМП-20, виявити наявні перевищення концентрації шкідливих викидів з визначенням технічних засобів та режимних заходів боротьби з ними.

2.1 Конструктивні та технологічні характеристики котла КВГМ-20 зі штатною пальниковою системою РГМП-20

Котел водогрійний газомазутний КВГМ-20 (див. рисунок 2.1) теплопродуктивністю 23,26 МВт призначений для нагріву води систем тепlopостачання до 150°C, має топкову камеру з горизонтальним потоком топкових газів і конвективну шахту. Димові гази, що продукуються в топці котла, рухаються в задню частину, де на поворотному екрані завихрюються і знизу через фєстон заднього екрану топки входять в конвективну шаху, де піднімаються ввєрх, а потім по спеціальному газоходу опускаються до димососа і через димову трубу викидаються в атмосферу. Блоки котла – топковий і конвективний – мають опори, приварені до нижніх колекторів. Опори, розміщені на стику конвективного блоку і топкової камери – нерухомі.

Характеристики роботи котла на природному газі наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристики роботи котла на природному газі

Найменування	Одиниця	Значення величини
Теплова продуктивність	МВт	23,26
Температура води на вході	°C	70
Температура води на виході	°C	150
Витрата води	т/год	247
ККД котла при номінальному навантаженні (брутто)	%	91,9
Витрата газу	м ³ _н /год	2560

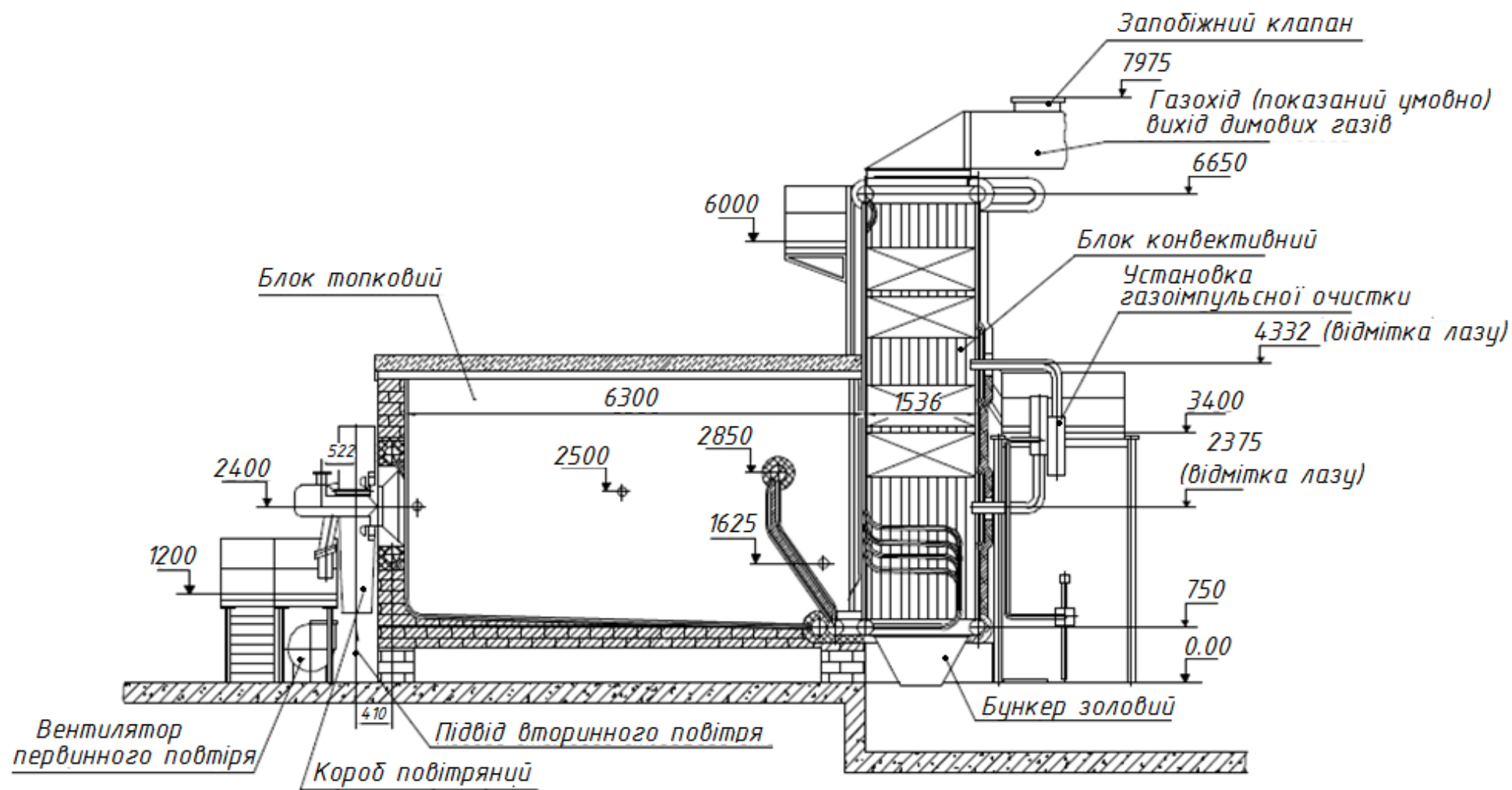


Рисунок 2.1 – Повздовжній розріз котла KBGM-20

Стіни топкової камери повністю екрановані трубами діаметром 60x3 мм з кроком 64 мм. Труби екранів приварюються безпосередньо до колекторів. В задній частині топкової камери є проміжна екранована стінка, що утворює камеру догорання. Екрани проміжної стінки виконані також із труб діаметром 60x3 мм, але встановлені у два ряди з кроком $S_1=128$ мм і $S_2=182$ мм. Конвективна поверхня нагріву розміщена в вертикальній шахті з повністю екранованими стінками. Задня і передня стіни виконані із труб 60x3 мм з кроком 64 мм. Бокові стіни екрановані вертикальними трубами діаметром 83x3,5 мм з кроком 128 мм. Ці труби слугують також стояками для труб конвективних пакетів, які набираються із U-подібних ширм із труб 28x3 мм.

Ширми розміщені таким чином, що труби утворюють шахматний пучок з кроком $S_1=64$ мм і $S_2=40$ мм. Передня стінка шахти, яка одночасно є задньою стінкою топки, виконана суцільнозварною. В нижній частині стіни труби розведені в чотирьохрядний фестон з кроком $S_1=256$ мм і $S_2=180$ мм. Труби, що утворюють передню, бокові і задню стіни конвективної шахти, зварені безпосередньо в колектори.

Котел має полегшену натрубну обмурівку, несучого каркасу немає. Цегляна кладка є тільки під трубами подового екрану і на фронтовій стіні, в якій викладається амбразура пальника.

Нижні камери вказаних екранів мають опори. Опора, розміщена посередині нижньої камери проміжного екрана є нерухомою, температурне розширення екранів системи направлене знизу вгору. Конструктивні характеристики котла наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Конструктивні характеристики котла КВГМ-20

Частина котла	Характеристика	Одиниця	Значення величини
1	2	3	4
Топка	Об'єм топки	м ³	61,2
	Поверхня стін	м ²	114,2
	Радіаційна поверхня нагріву	м ²	106,6
	Діаметр труб	мм	60x3
Фестон (розміщення труб шахове)	Діаметр труб	мм	60x3
	Поперечний крок труб	мм	256
	Повздовжній крок труб	мм	180
	Поверхня нагріву	м ²	10,3
	Число рядів труб	шт	4
	Перетин для проходу газів	м ²	4,03

Продовження таблиці 2.2

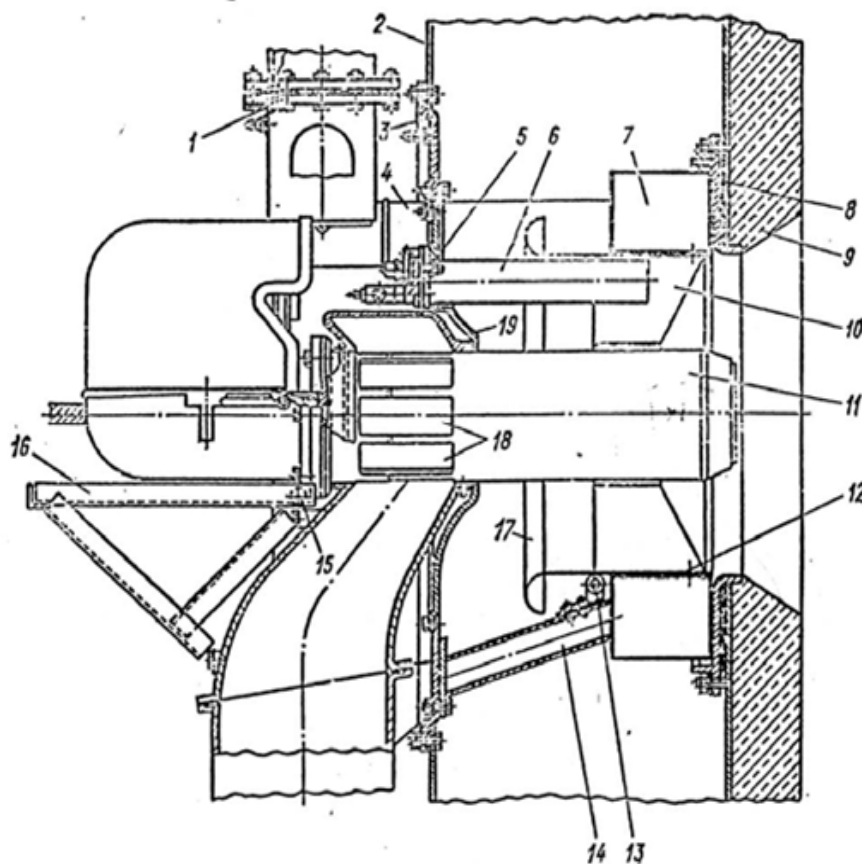
Конвективний пучок – шахта (розміщення труб шахове)	Діаметр труб	мм	28x3
	Число рядів труб	шт	64
	Поперечний крок труб	мм	64
	Повздовжній крок труб	мм	42
	Поверхня нагріву	м ²	406,5
	Перетин для проходу газів	м ²	2,57

Технічна характеристика тягодуттьових пристроїв закріплених за котлом КВГМ-20 №8 в РК «ВЕРКОН», м. Київ наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Технічна характеристика димососа та вентилятора

Обладнання	Характеристика	Одиниця	Значення величини
Димосос ДН-17	Продуктивність	м ³ /год	73000
	Напір	Па	2824
	Потужність електродвигуна	кВт	55
	Частота обертання	об/хв.	750
Вентилятор ВДН-12,5	Продуктивність	м ³ /год	39100
	Напір	Па	5217
	Потужність електродвигуна	кВт	37
	Частота обертання	об/хв.	950

Котел КВГМ-20 обладнаний одним газомазутним пальником РГМП-20 (див. рисунок 2.2) продуктивністю 2560 м³/год газу або 2360 кг/год мазуту. Пальник встановлений на повітряному коробі котла, який кріпиться на фронтальному екрані до вертикальних колекторів. Основні характеристики пальника наведено в таблиці 2.4.



- 1 – газопровід; 2 – повітряний короб; 3 – кільце рами; 4 – газова труба;
 5, 6 – труба встановлення запального захисного пристрою та фотодатчика;
 7 – газова камера; 8 – переднє кільце повітренаправляючого пристрою;
 9 – конічний керамічний тунель (амбразура); 10 – завихрювачі повітренаправляючого пристрою;
 11 – ротаційна форсунка; 12 – газові випускні отвори; 13 – рамка для центрування завихрювача
 вторинного повітря; 14 – опорна труба; 15 – підшипник направляючої рами; 16 – направляюча
 рама; 17 – повітряний шибер; 18 – вікно для підведення повітря до завихрювача; 19 – кришка
 пальника

Рисунок 2.2 – Конструкція ротаційного газомазутного пальника РГМП-20

Таблиця 2.4 – Основні характеристики пальника РГМП-20 на номінальній продуктивності

Характеристика	Одиниця	Значення величини
1	2	3
Теплова потужність пальника	МВт	23,26
Витрата палива:		
Мазут марки М-100 по ГОСТ 10585-75	кг/год	2360
Природний газ	м ³ /год	2560

Продовження таблиці 2.4

В'язкість мазуту	ВУ	6,0-8,0
Тиск мазуту перед форсункою	кПа	156,8
Тиск природного газу перед пальником	кПа	33,32
Аеродинамічний опір пальника по первинному повітрю	кПа	7,16
Аеродинамічний опір пальника по вторинному повітрю	кПа	1,47
Потужність електродвигуна форсунки	кВт	2,2
Температура повітря	°С	10-50
Потужність електродвигуна вентилятора первинного повітря	кВт	10
Маса пальника	кг	635

Характерною особливістю пальника є наявність автономного регулятора первинного повітря і беззавиткове підведення вторинного повітря.

Основними вузлами пальникового пристрою являються: ротаційна форсунка, газова частина периферійного типу, повітронаправляючий пристрій первинного повітря і повітровід первинного повітря. Повітронаправляючий пристрій вторинного повітря складається із повітряного короба, завихрювала аксіального типу з профільними лопатками, встановленими під кутом 40°, і переднього кільця, що утворює гирло пальника.

Газова частина пальника периферійного типу складається із газороздаючої кільцевої камери з однорядною системою газовидаючих отворів одного діаметру.

Через встановлений на котлі КВГМ-20 застарілої конструкції пальник, котельний агрегат має ряд недоліків і не відповідає сучасним вимогам. До числа таких недоліків належать:

- знижений коефіцієнт корисної дії котельного агрегату;
- робота пальників з підвищеними надлишками повітря;
- незадоволення екологічних норм щодо викидів окислів азоту NO_x .

Розрахунок основних параметрів штатного пальника РГМП-20.

Об'ємна витрата газу, $\text{м}^3 / \text{с}$

$$V_r = \frac{V'_r}{3600}, \quad (2.1)$$

де V'_r - об'ємна витрата газу на номінальній продуктивності, $\text{м}^3 / \text{год}$.

Беру з таблиці 2.1 $V'_r = 2560 \text{ м}^3 / \text{год}$.

$$V_r = \frac{2560}{3600} = 0,711 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Площа поперечного перерізу для проходження газу, м^2

$$f_{\text{г}} = n_{\text{г}} \frac{\pi d_{\text{г}}^2}{4}, \quad (2.2)$$

де $n_{\text{г}}$ – кількість газових отворів, шт;

$d_{\text{г}}$ – діаметр газових отворів, м.

Для даного пальника $d_{\text{г}} = 0,015$ м та $n_{\text{г}} = 20$ шт.

$$f_{\text{г}} = 20 \frac{3,14 \cdot 0,015^2}{4} = 0,00353 \text{ м}^2.$$

Швидкість виходу газу з отвору для його підводу, м/с

$$w_{\text{г}} = \frac{V_{\text{г}}}{f_{\text{г}}}, \quad (2.3)$$

$$w_{\text{г}} = \frac{0,711}{0,00353} = 201,4 \text{ м/с}.$$

Прохідний переріз пальника по повітрю складається з поперечного перерізу в регістрі та в центральній трубі, м^2

$$f_{\text{пов}} = f_{\text{рег}} + f_{\text{ц.т.}}, \quad (2.4)$$

де $f_{\text{рег}}$ – площа прохідного перерізу регістра, м^2 ;

$f_{\text{ц.т.}}$ – поперечний переріз центральної труби, м^2 .

$$f_{\text{рег}} = \frac{\pi \cdot (d^2 - d_3^2)}{4} - (d - d_3) \cdot \delta_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}}, \quad (2.5)$$

де d – внутрішній діаметр регістра, м;

d_3 – зовнішній діаметр патрубку первинного повітря, м;

$\delta_{\text{л}}$ – товщина лопаток, м;

$n_{\text{л}}$ – кількість лопаток, шт.

$$f_{\text{ц.т.}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ц.т.}}^2}{4}, \quad (2.6)$$

де $d_{\text{ц.т.}}$ – внутрішній діаметр центральної трубки для проходження повітря, м.

$$f_{\text{ц.т.}} = \frac{3,14 \cdot 0,272^2}{4} = 0,058 \text{ м}^2,$$

$$f_{\text{рег}} = \frac{3,14 \cdot (0,596^2 - 0,28^2)}{4} - (0,596 - 0,28) \cdot 0,003 \cdot 18 = 0,2 \text{ м}^2.$$

Прохідний переріз пальника по повітря

$$f_{\text{пов}} = 0,058 + 0,2 = 0,258 \text{ м}^2.$$

Теоретичний об'єм повітря для спалювання 1 м³ природного газу, м³_н / м³_н

$$V^o = 0,0476 \left(0,5(CO + H_2) + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right), \quad (2.7)$$

де CO , H_2 , H_2S , O_2 , $C_m H_n$ - вміст монооксиду вуглецю, водню, сірководню, кисню та вуглеводнів у паливі, %.

m, n - число атомів вуглецю і водню в вуглеводневому з'єднанні.

Для розрахунку беру наступний склад газоподібного палива:

$$CH_4 = 98,9\%,$$

$$C_2H_6 = 0,3\%,$$

$$C_3H_8 = 0,1\%,$$

$$C_4H_{10} = 0,1\%,$$

$$N_2 = 0,4\%,$$

$$CO_2 = 0,2\%.$$

$$V^o = 0,0476 \left(\left(1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 98,9 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 0,3 + \left(3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 0,1 + \left(4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 0,1 \right) = 9,52 \text{ м}^3_{\text{н}} / \text{м}^3_{\text{н}}.$$

Витрата повітря через пальник, м³/с

$$V_{\text{пов}} = \alpha \cdot V^o \cdot V_{\Gamma} \cdot \frac{(273 + t_{\text{пов}})}{273}, \quad (2.8)$$

де α - коефіцієнт надлишку повітря на пальнику;

$t_{\text{пов}}$ - температура повітря, що подається на пальник, °С.

Беру для штатного пальника $\alpha = 1,08$, $t_{\text{пов}} = 20$ °С.

$$V_{\text{пов}} = 1,08 \cdot 9,52 \cdot 0,711 \cdot \frac{(273 + 20)}{273} = 7,85 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Швидкість виходу повітря з отвору підводу, м/с

$$w_{\text{пов}} = \frac{V_{\text{пов}}}{f_{\text{пов}}}, \quad (2.9)$$

$$w_{\text{пов}} = \frac{7,85}{0,258} = 30,43 \text{ м/с}.$$

2.2 Моделювання аеродинамічних та теплових процесів в топці котла зі штатним пальником

Беру за основу наявні дані та за допомогою програмного забезпечення «Solid Works» будує трьохвимірну геометричну модель штатного пальника типу РГМП-20 (див. рисунок 2.4) та топки (див. рисунок 2.5).

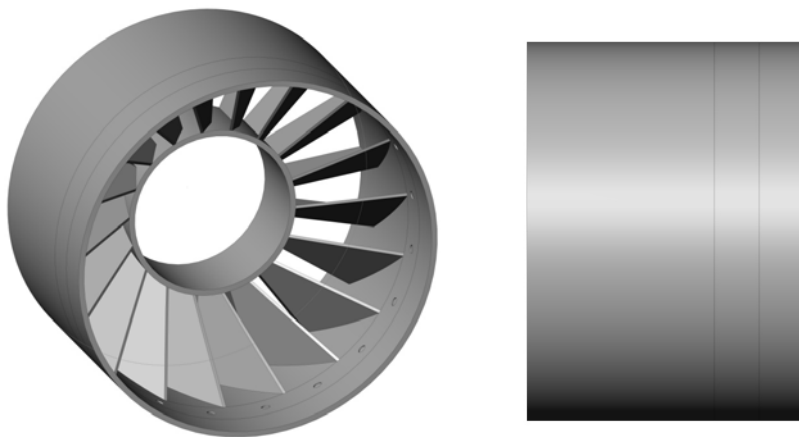


Рисунок 2.3 – Геометрична модель штатного пальника РГМП-20

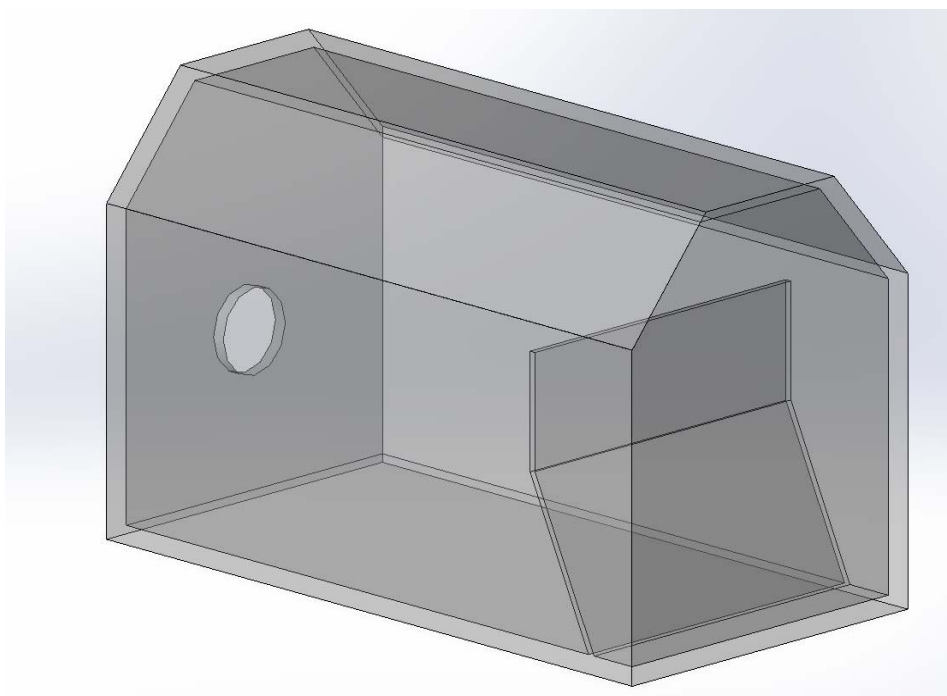


Рисунок 2.4 – Геометрична модель топки котла КВГМ-20

Для побудованої моделі топки з штатним пальником задаю наступні граничні умови (див. рисунок 2.6), а саме:

- витрата газу – $0,711 \text{ м}^3/\text{с}$;
- витрата повітря – $7,85 \text{ м}^3/\text{с}$;
- тиск на виході з топки – $101\,325 \text{ Па}$.

При цьому беру, що коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,08$.

В місцях входу потоків (повітря і газу) та інтенсивного сумішоутворення задаю уточнену розрахункову сітку (див. рисунок 2.6), яка знизить похибку розрахунку.

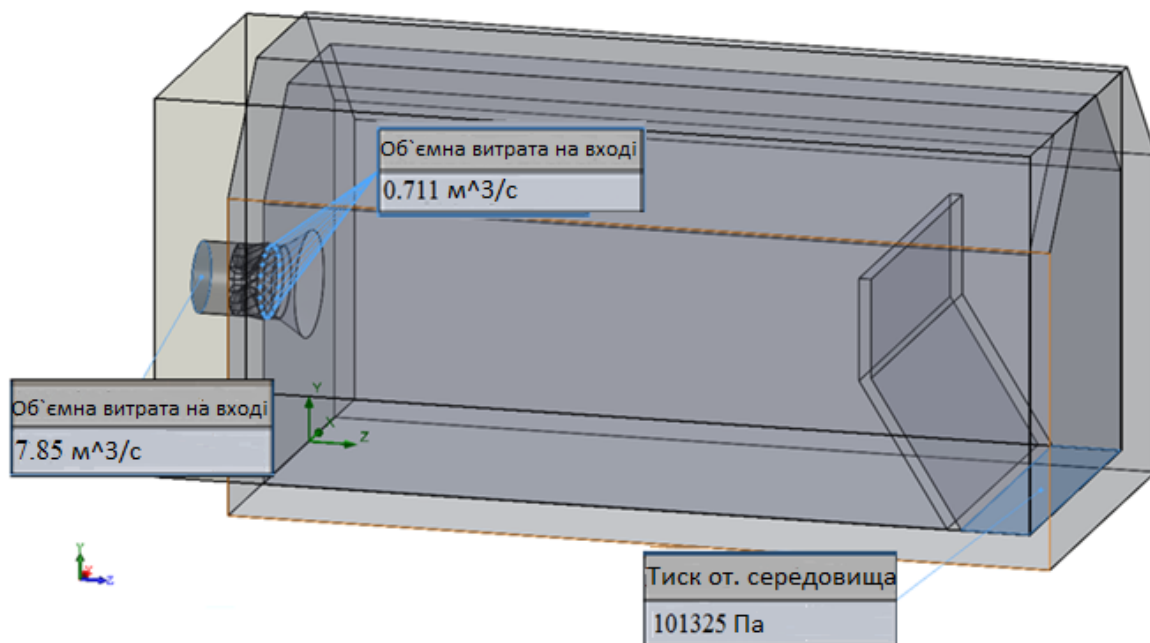


Рисунок 2.5 – Модель топки котла зі штатним пальником типу РГМП-20

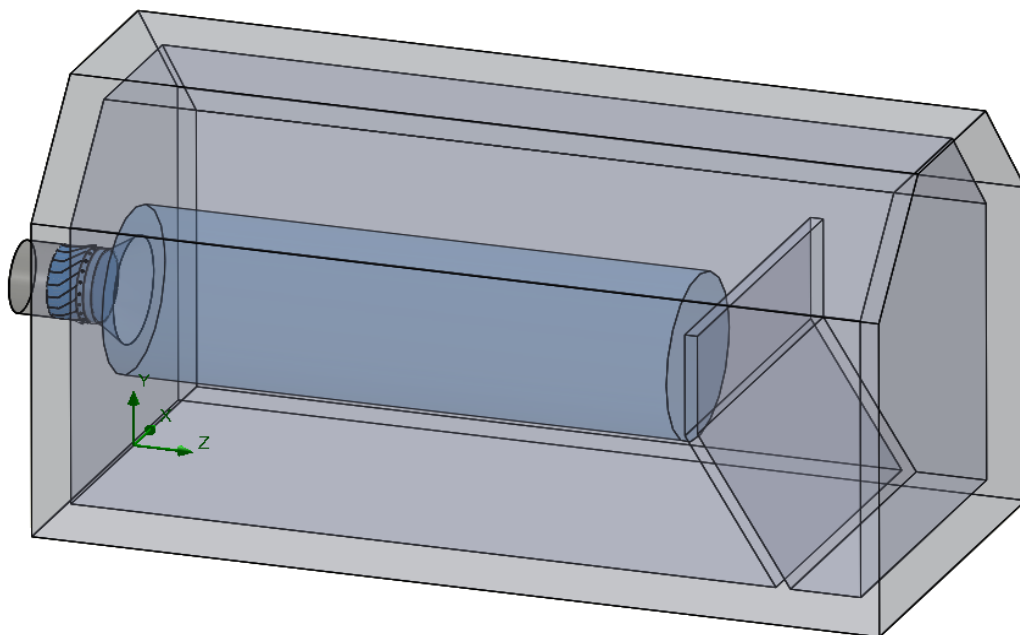


Рисунок 2.6 – Уточнення розрахункової сітки

Результати моделювання аеродинамічних і теплових процесів представлені на рисунках 2.7 - 2.9.

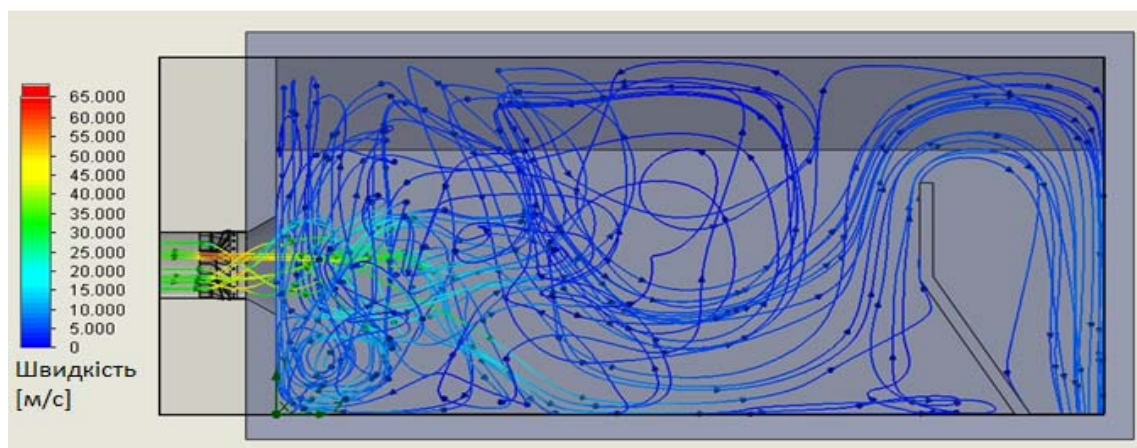


Рисунок 2.7 – Траєкторії руху потоків

Повітря, яке проходить крізь центральний отвір пальника, має прямолінійний характер течії і найбільшу швидкість. Повітря, яке проходить через повітронаправляючий пристрій, завихрюється і спричиняє рух гарячого потоку продуктів згорання в напрямку екранів, що викликає перегорання екранних труб та передчасне їх зношення.

Поле швидкостей газоповітряної суміші штатного пальника має нерівномірний розподіл у топці котельного агрегату (див. рисунок 2.8).

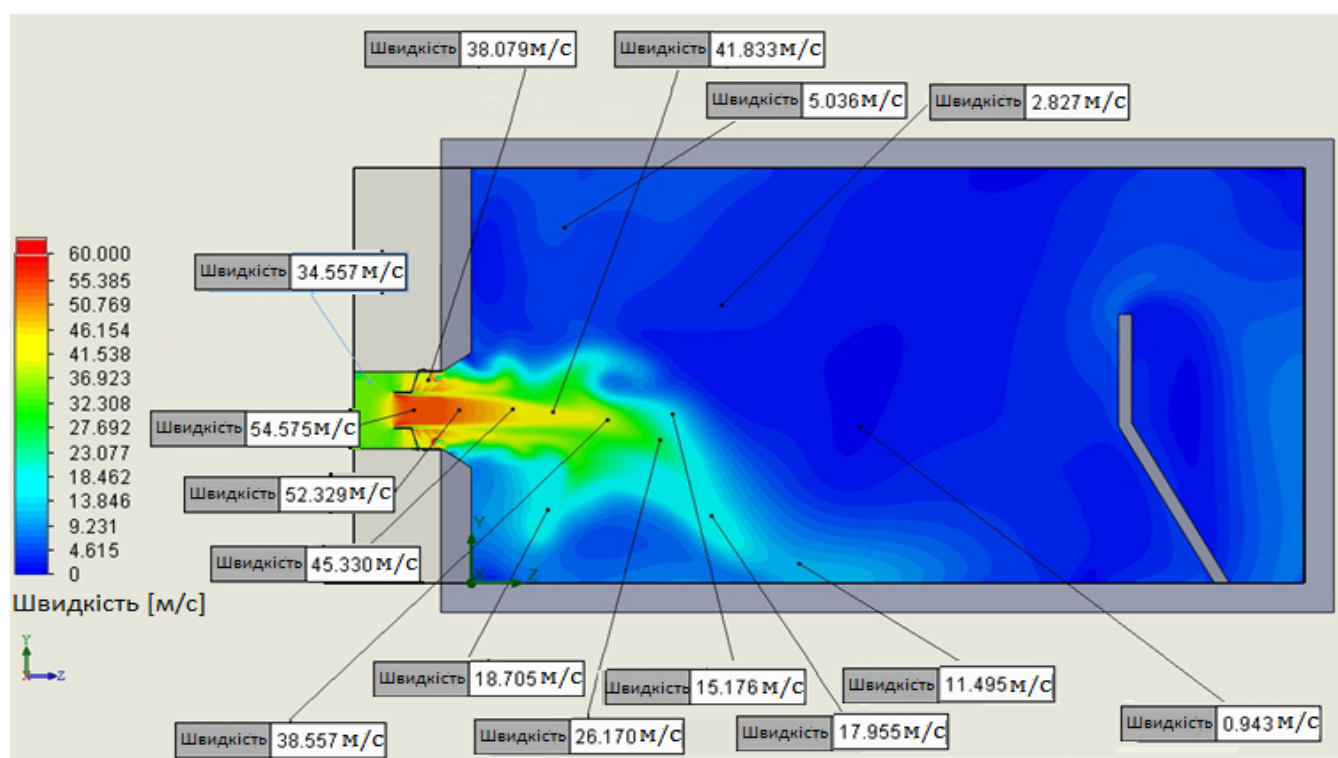


Рисунок 2.8 – Розподіл швидкостей в топці

Результати математичного моделювання аеродинамічних процесів у топці підтверджуються розрахунками. Значення середньої швидкості газоповітряної суміші на виході з пальникового пристрою, отриманої з моделі і розрахункове значення швидкості майже однакові. Це свідчить про адекватність моделі.

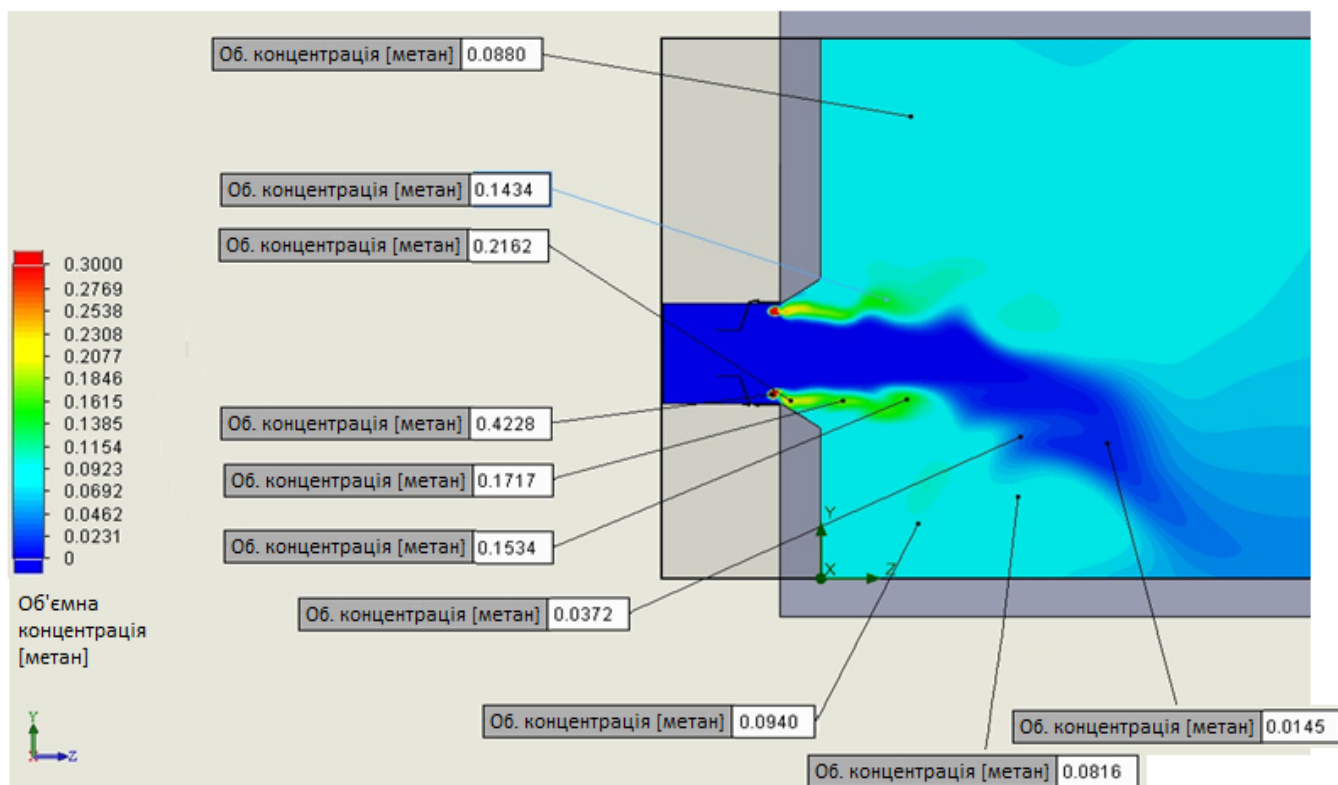


Рисунок 2.9 – Розподіл об'ємної частки метану в топці

Як видно з рисунку 2.9, при роботі котла на штатному палиниковому пристрої має місце нерівномірний розподіл концентрацій газу на вході у топку котельного агрегату. Центральний потік повітря стрімко рухається і погано перемішується з газом. Повітря, що завихрюється, відносить газ від основного потоку. Таким чином газ ніби огортає повітряний потік, не поступаючи в центр потоку. Тому для штатної паликової системи характерні високі значення коефіцієнтів надлишку повітря. Це призводить до збільшення втрат з відхідними газами. Оптимальна концентрація досягається на відстані 2 м від амбразури палика. Нерівномірний розподіл температур та локальні підвищення температури в зоні горіння спричиняють інтенсифікацію утворення в цих місцях оксидів азоту (NO_x).

Аналізуючи розподіл швидкостей газоповітряної суміші та концентрацій газу у топці котлоагрегату КВГМ-20 можна зробити висновок, що за рахунок неякісного сумішоутворення та нерівномірного температурного поля у зоні горіння робота котла на штатному палиниковому пристрої характеризується високим коефіцієнтом надлишку повітря, низьким ККД, високими значеннями питомих викидів шкідливих речовин у атмосферу, нерівномірним тепловим навантаженням та наявністю різних зон, як перегріву, так і недогріву поверхонь топки котла.

Отже, стає зрозумілим, що вирішити ці проблеми можна лише за рахунок впровадження нової високоефективної і екологічно «чистої» технології газоспалювання.

2.3 Аналіз умов утворення та емісії оксидів азоту у топці котла КВГМ-20

Індустріалізація суспільства призводить до збільшення забруднення атмосфери в основному продуктами спалювання органічних палив: за винятком водяної пари, всі інші продукти згоряння активно впливають на довкілля. Оксиди азоту є найбільш небезпечними серед усіх продуктів згоряння, які забруднюють атмосферу, тому для зменшення негативного впливу необхідно вживати заходи щодо зменшення утворення оксидів азоту в процесі горіння.

В той же час, за даними діючого на сьогодні наказу Міністерства екології та природних ресурсів України №62 від 16.02.2018 р. «Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт» (на зміну наказу від 22 жовтня 2008 року №541) [16] масові концентрації оксидів азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту під час спалювання газоподібного палива для існуючих установок не мають перевищувати 500 мг / м_n^3 і з досяганням до 2034 року значення у 100 мг / м_n^3 .

Для досягнення таких низьких викидів оксидів азоту [15] пропонує 2 типи заходів. Удосконалення процесу горіння (первинні методи) або очищення продуктів згоряння (вторинні методи). До первинних належать наступні методи: допалювання, стадійна подача повітря, рециркуляція димових газів, модернізація пальників, впорскування води або пари. Селективне некаталітичне і селективне каталітичне відновлення представляють групу вторинних методів. Інформація про технологічні методи зниження оксидів азоту наведена на рисунку 2.10.

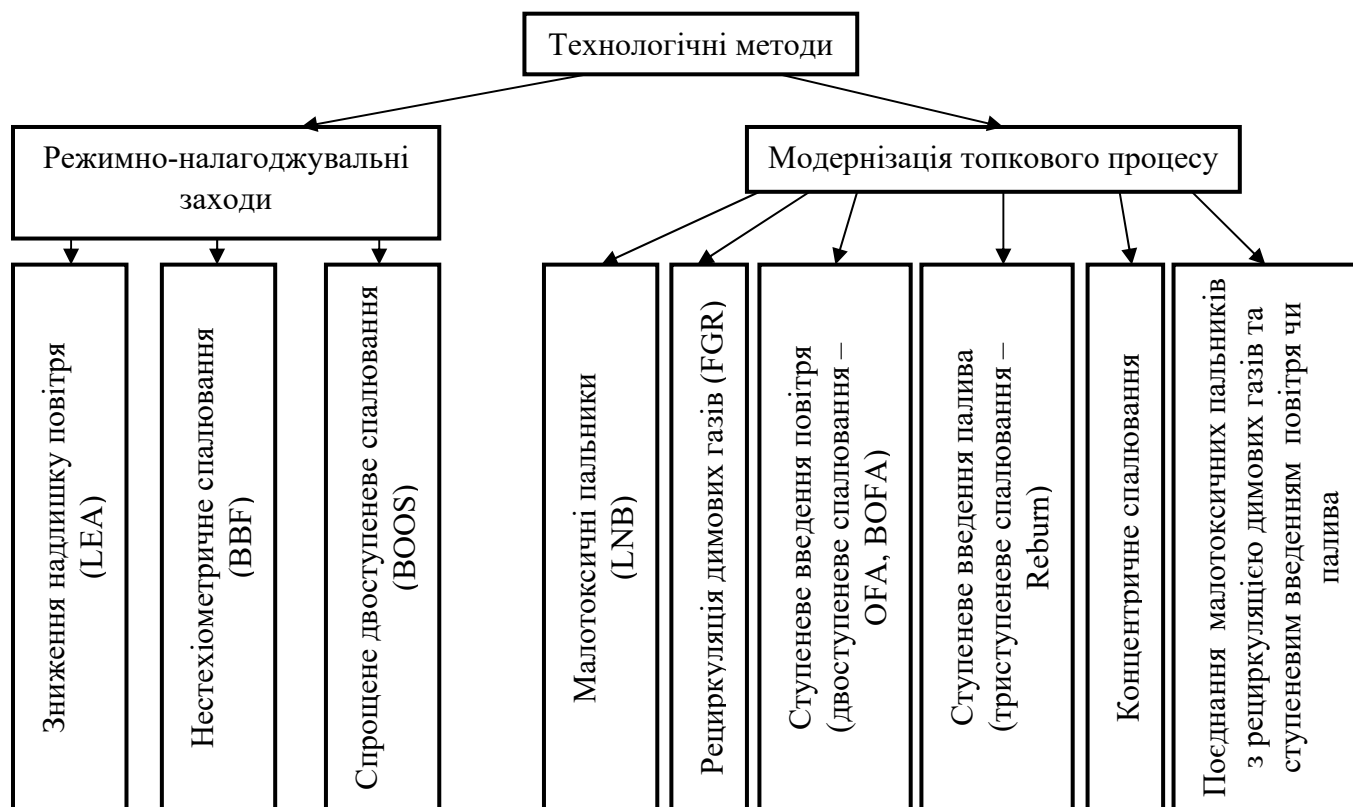


Рисунок 2.10 – Технологічні методи зниження викидів оксидів азоту

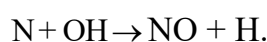
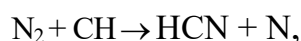
Існує кілька причин утворення оксидів азоту:

- утворення «термічних» (повітряні) з молекулярного азоту повітря при температурі вище 1500°C (механізм Зельдовича);
- утворення «паливних» зі зв'язаного азоту, що міститься в паливі;
- утворення невеликої кількості «швидких» шляхом реакції молекулярного азоту повітря з вуглеводневими радикалами (механізм Фенімора).

При низькотемпературному спалюванні палива $\leq 1500^\circ\text{C}$ термічні NO_x можна взагалі не враховувати через їхню малу кількість. Це можливо, при високій частці рециркуляції газів, що подаються через пальники, або при високому коефіцієнті надлишку повітря в топці.

Утворення паливних оксидів азоту при спалюванні газу практично не відбувається, оскільки їх кількість залежить від вмісту азоту в паливі.

«Швидкі» утворюються на початковій ділянці факела в зоні розігріву паливо-повітряної суміші. Тут визначальним є присутність радикалів, що утворюються при термічному розкладанні палива в результаті аномально швидких реакцій молекулярного азоту з вуглеводнями, що містяться в паливі:



Ці реакції активно протікають вже при температурі 1300°C, коли утворення термічних NO_x ще не відбувається. Частка різних видів оксидів азоту у загальній кількості оксидів азоту в залежності від температури факелу та надлишку повітря для різних видів палива наведена на рисунку 2.11.

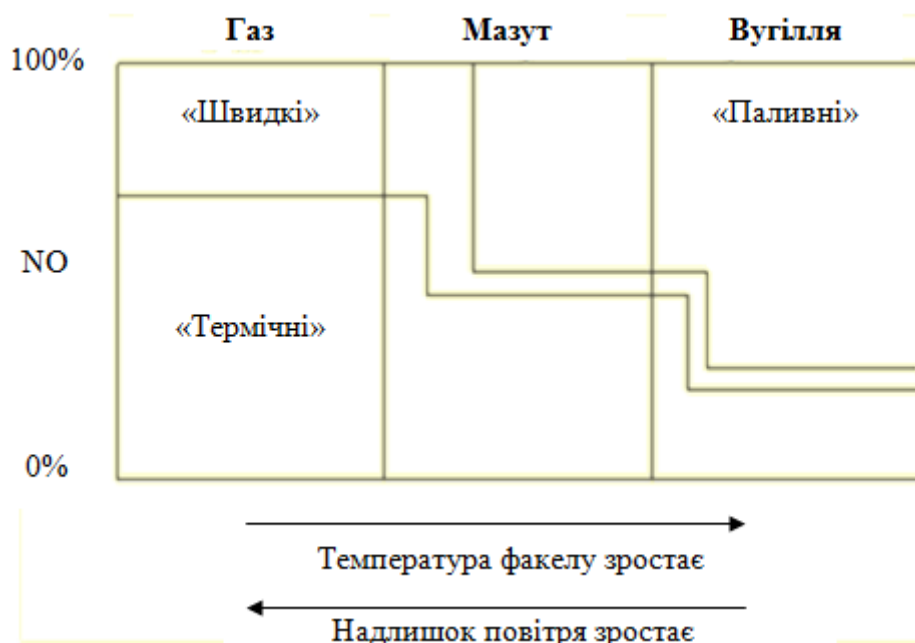


Рисунок 2.11 – Частка різних оксидів азоту у загальній кількості при спалюванні різних видів палива

Основні фактори, які впливають на утворення NO_x :

- температура в зоні горіння палива;
- коефіцієнт надлишку повітря;
- час перебування компонентів в зоні високих температур.

Ці фактори визначають основні напрямки боротьби з викидами азоту, однак труднощі реалізації методів пригнічення оксидів азоту полягають в тому, що більшість технічних/режимних рішень, що знижують утворення NO_x , погіршують процес горіння, і навпаки – майже всі заходи, що покращують горіння палива, одночасно спричиняють зростання генерації NO_x (див. таблицю 2.6).

Таблиця 2.6 - Вплив зміни параметрів паливного процесу на енерго-екологічну ефективність роботи котла КВГМ - 20

Параметр процесу в паливні	Вплив	
	на NO_x	на недопал CO
Зменшення надлишку повітря	Зменшує	Збільшує
Підвищення температури повітря	Збільшує	Зменшує
Зниження навантаження паливні	Зменшує	Збільшує
Зменшення стехіометричного співвідношення в зоні первинного згоряння	Зменшує	Збільшує
Ступінчасте введення палива (або його перерозподіл між пальниками)	Зменшує	Збільшує
Зниження теплового сприйняття екранів	Збільшує	Зменшує
Рециркуляція димових газів	Зменшує	Збільшує
Впорскування пари (вологи) в зону горіння	Зменшує	Збільшує
Ступінчасте введення повітря	Зменшує	Збільшує

Наприклад, впорскування води або пари в факел призводить до зниження утворення оксидів азоту і, як наслідок, сумарної емісії (див. таблиця 2.7). Пригнічення генерації оксидів азоту відбувається в результаті не тільки зниження температури в активній зоні горіння палива але й від розбавлення діючих концентрацій реагентів. Причому перший фактор має переважаючий вплив на зменшення утворення оксидів азоту. Тому для досягнення найкращого ефекту уприскування вологи слід здійснювати безпосередньо в ядро горіння (локальний дозований метод впорскування).

Як джерело вологи можуть використовуватися наступні речовини:

- технічна вода;
- насичена пара;
- вода безперервної продувки (при умові парового котла);
- пара проміжних відборів (при умові парового котла);

Впорскування води або пари призводить до зниження ККД котла на 0,5...3%. Часто даний метод застосовується разом з методами модернізації пальників і рециркуляції димових газів.

Даний метод в основному рекомендується використовувати як короткочасний захід. При спалюванні природного газу цим методом можна досягти зниження викидів оксидів азоту на 20%. Кількість води або пари обмежується умовою запобігання конденсації на хвостових поверхнях нагріву. Впорскування води або пари призводить до зниження ККД котла на 0,5...3%. Часто даний метод застосовується разом з методами модернізації пальників і рециркуляції димових газів.

Таблиця 2.7 – Відомості про впровадження вприскування вологи на різних котлах

Тип котла	Паливо	Вміст вологи, %	Зниження NO _x , %
ТГМП-314Ц	Мазут	6,0	20-40
БКЗ-320-140ГМ	Мазут	6-8	30
ТГМ-84	Газ, мазут	10,0	25
ТГМ-94	Газ	8,0	20

Переваги й недоліки вприскування вологи:

- перевагою методу є невеликі конструктивні і експлуатаційні витрати, а також його простота і легкість автоматизації. Подача вологи здійснюється через форсунки, які, як правило, встановлюються в пальникових пристроях, для цього часто використовують парові канали мазутних форсунок.

- до недоліків можна віднести істотне зниження ККД котла (0,5...3%) за рахунок втрат з відхідними газами і підвищення інтенсивності низькотемпературних кислотної і кисневої корозії поверхонь нагріву. Останнє істотно зменшує терміни служби хвостових поверхонь нагріву і газоходів.

Рециркуляція димових газів, що вводяться в ядро факелу, може впливати на емісію NO_x за різними напрямками:

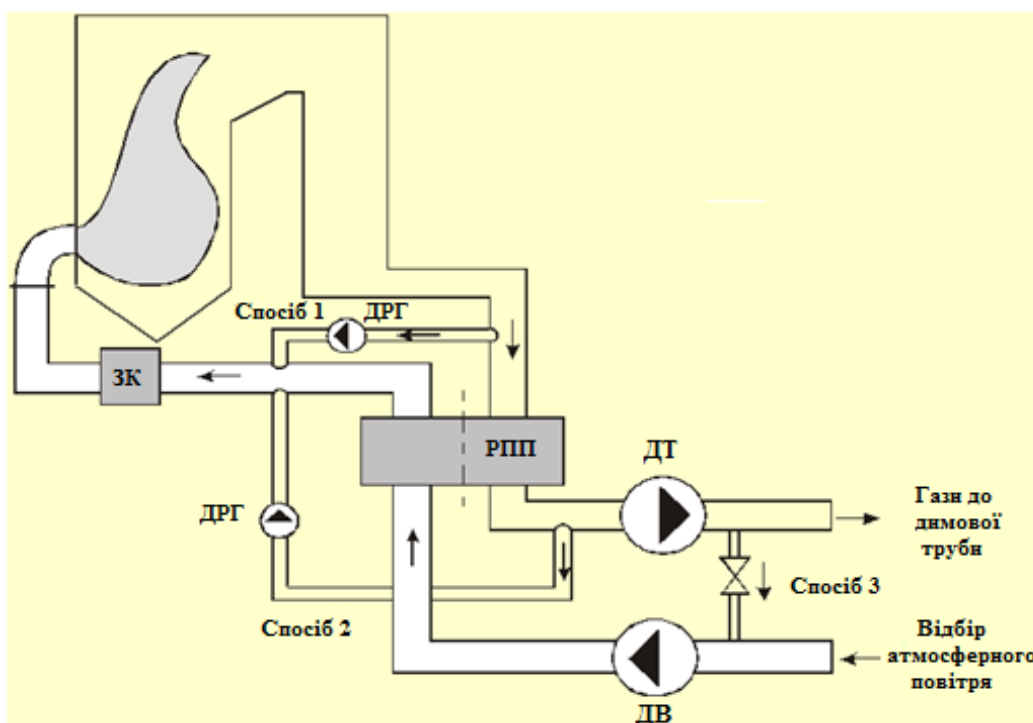
- розділяє паливо і окислювач, що гальмує сумішоутворення;
- збіднює окислювач за рахунок зниження концентрації кисню;
- знижує температурний рівень паливного процесу.

Існує кілька способів введення газів рециркуляції в паливню:

- в под (нижню частину) паливні;
- безпосередньо в пальниковий пристрій в один з повітряних потоків або між потоками повітря;
- в пальник в потік палива;
- в повітропровід гарячого повітря.

При спалюванні природного газу найбільше зниження виходу оксидів азоту спостерігається при введенні газів рециркуляції безпосередньо в паливо, хоча це є найскладніший метод, тому краще здійснювати рециркуляцію димових газів у вторинне повітря перед пальниками.

Рециркуляція відпрацьованих газів (три варіанти відбору рециркулюючих газів) наведена на рисунку 2.13.



ДРГ – димосос рециркуляції газів; ДВ – дуттьовий вентилятор;

ДТ – димотяг; РПП – реєнеративний повітропідігрівач, ЗК – змішувальна камера.

Рисунок 2.13 – Принципова схема рециркуляції димових газів

Недоліками першого способу є висока вартість ДРГ, підвищені енерговитрати на привід ДРГ і витрати на його технічне обслуговування у зв'язку з підвищеними температурами газів рециркуляції.

Другий спосіб реалізує відбір газів на рециркуляцію з газоходу після РПП. Через менші температури газів (зазвичай 130-160°C) витрати на обслуговування ДРГ і вартість самого ДРГ менше в порівнянні з першим способом. Недоліками даної схеми є довгі газоходи, додаткове навантаження на ДТ.

Третій спосіб організації рециркуляції газів полягає в пристрої перемички між газоходами безпосередньо за димотягом ДТ і повітропроводом перед дуттьовим вентилятором.

В цьому випадку димові гази з вихлопу димотягу (з надлишковим тиском) самопливом надходять на всас дуттьового вентилятора (що знаходиться під розрідженням). Кількість рециркулюючих газів регулюється за допомогою шиберу, встановленого на перемичці. Даний спосіб відрізняється найкоротшими газоходами і відсутністю (ДРГ), через що він набагато дешевше інших.

До переваг такої спрощеної схеми слід також віднести хороше перемішування продуктів згоряння з повітрям в дуттьовому вентиляторі.

Недоліками спрощеної схеми є обмеження максимального ступеня рециркуляції, який, як правило, не перевищує 12-15% (визначається запасом продуктивності тягодуттьових машин), можливість посилення корозії і занесення повітропідігрівача відкладеннями при почерговому спалюванні газ/вугілля, додаткове навантаження ДВ і ДТ.

Ефект зниження виходу оксидів азоту при організації рециркуляції газів трохи вище при спалюванні природного газу, ніж при спалюванні мазуту. В даний час закордоном більшість діючих і нові газомазутні котли мають рециркуляцію в якості ефективного внутрішньопаливневого заходу.

2.4 Висновки з розділу 2

1. Через встановлений на котлі КВГМ-20 застарілої конструкції пальник РГМП-20, котельний агрегат має ряд недоліків і не відповідає сучасним вимогам. До числа таких недоліків належать:

- знижений коефіцієнт корисної дії котельного агрегату;
- робота пальника з підвищеними надлишками повітря;
- невідповідність екологічним нормам щодо викидів оксидів азоту NO_x .

2. Отримана модель свідчить про недосконалість процесів сумішоутворення, траєкторії руху потоків, розподілу швидкостей та теплового розподілу в паливні зі штатною схемою пальника РГМП-20. Водночас, недосконалість штатної схеми спричиняє збільшення затрат на ремонт екранних труб котла.

3. Пропонується заміна штатного пальника на пальник на базі розробленої в ННЦ «ЕКОТЕЗ» мікрофакельної технології спалювання газового палива, оскільки ця технологія повністю усуває всі зазначені недоліки, за рахунок: прямоочності руху газоповітряної суміші, комбінованого сумішоутворення (попереднього і дифузійного), стадійності і мікрофакельності спалювання, високій турбулізації і внутрішній рециркуляції потоку, низькій емісії оксидів азоту.

3 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОТЛА

До палиникових пристроїв водогрійних котлів встановлені відомі вимоги, а саме:

- універсальність (можливість застосування в різних паливнях);
- надійність (обмежене тепловиділення поблизу палиника при мінімальному проскакуванні полум'я);
- стійкість запалювання і стабілізація фронту горіння в широких межах;
- простота конструкції;
- мінімально можливий аеродинамічний опір по повітряному тракту;
- якісне сумішоутворення заданої інтенсивності, достатнє для завершення горіння;
- забезпечення повноти згорання газу при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря;
- забезпечення безшумності роботи і відсутність вібрацій в арматурі і всіх елементах;
- забезпечення збереження уніфікації обладнання для інших видів палива;
- ремонтпридатність.

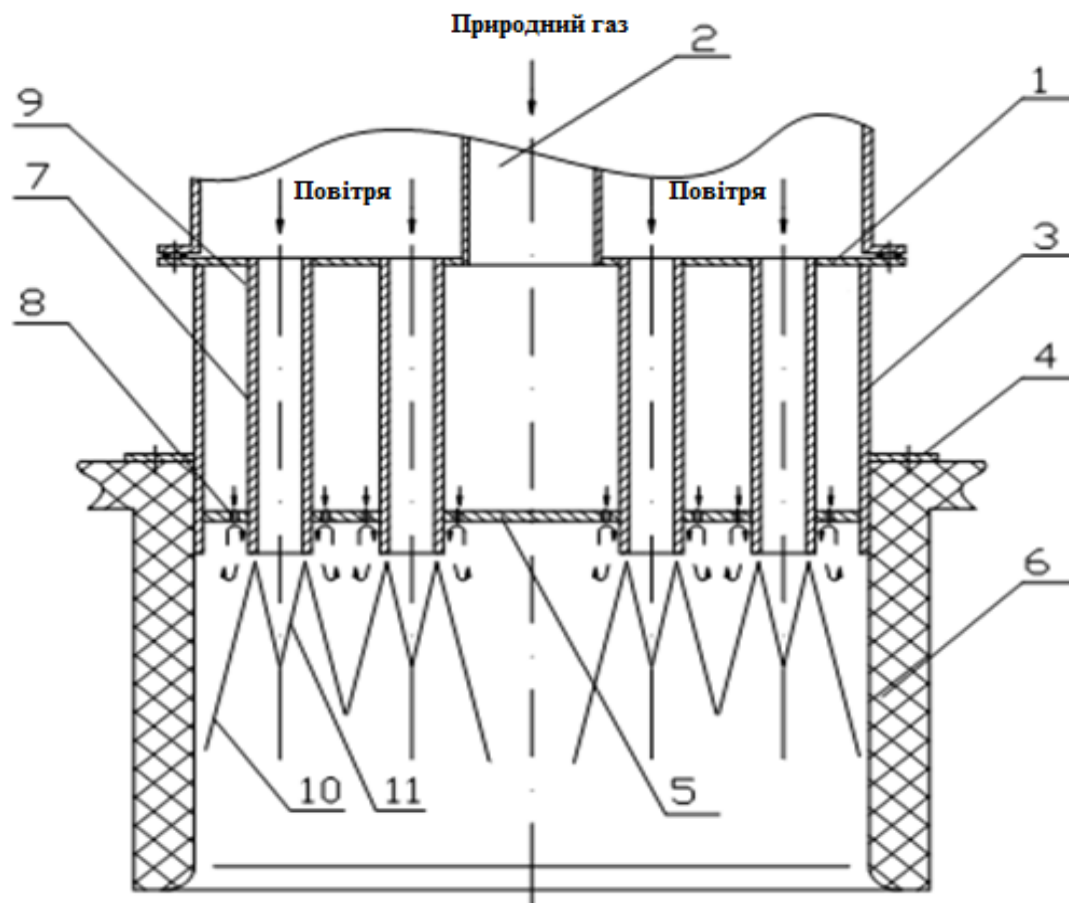
Природний газ вважається найбільш «чистим» з екологічного погляду органічним природним паливом, яке використовується у потужних підприємствах виробництва енергії – у промисловій та комунальній енергетиці. У той же час його спалювання у введених раніше системах не відповідає сучасним жорстким вимогам за ефективністю та екологічністю.

Існуючі методи зниження токсичності продуктів згорання вуглеводневих палив характеризуються великими витратами при їхньому впровадженні і для всіх відомих методів характерна селективність та неоднозначність впливу на різні токсичні складові продуктів згорання. Наприклад, всі технологічні прийоми зниження емісії оксидів азоту (NO_x) приводять до збільшення концентрації в продуктах згорання оксиду вуглецю (CO) та продуктів хімічного недопалу (C_xH_y). Крім того, в більшості випадків не вдається ефективно застосувати одні й ті ж методи та засоби зниження токсичності продуктів згорання в палиникових системах різного призначення. Назріла об'єктивна необхідність створення і реалізації нових технологій спалювання природного газу, яка б відповідала окрім сформульованих вище, ще й наступним вимогам:

- висока енерго-екологічна ефективність;
- доступність матеріалів для виготовлення.

Застосування мікрофакельного горіння є перспективним напрямком підвищення енерго-екологічної ефективності пікових водогрійних котлів, але ефективність його застосування залежить від методів реалізації мікродифузійного горіння.

В обсязі даної магістерської роботи пропоную модернізацію пальникової системи водогрійного котла КВГМ-20 реалізувати на базі технології, що розроблена ННЦ «ЕКОТЕЗ», а саме мікрофакельної технології організації горіння газового палива, оскільки ця технологія відповідає всім поставленим вимогам [19]. Основним елементом в ній виступає трубчастий модуль (див. рисунок 3.1).



- 1 – передня трубна дошка; 2 – патрубок подачі природного газу; 3 – корпус пальника;
 4 – фланець; 5 – задня трубна дошка; 6 – вогнетривкий тунель (або жарова труба);
 7 – повітряні трубки; 8 і 9 – отвори для подачі газу; 10 – границя струменя;
 11 – ядро струменю.

Рисунок 3.1 – Схема пальника на базі мікрофакельної технології

Трубчастий модуль має більш низький аеродинамічний опір у порівнянні зі струменевими і вихровими елементами, характеризується аеродинамічним опором практично однакового рівня з конічними елементами і плоскими стабілізаторами і незначно перевищує рівень опору плоского модуля (чи пілона) із закругленим входом і самого насадка Борда [20, 21].

Крім значного меншого аеродинамічного опору, можна виділити наступні переваги трубчатих модулів:

- можливість використання як ізольованого модуля, так і системи трубчастих модулів, сполучених паралельно в загальній трубній дошці з визначеним кроком;
- можливість використання не тільки різних схем подачі палива (дифузійної, попередньої і комбінованої), але і додаткових конструктивних впливів на умови розвитку факела.

3.1 Моделювання аеродинамічних та теплових процесів в топці котла з мікрофакельним пальником

Проектом магістерської роботи передбачається заміна існуючого пальникового пристрою на пальниковий пристрій на базі мікрофакельної технології без зміни конструкції та компоновки топкової камери котла КВГМ-20. Тому для проведення моделювання аеродинамічних та теплових процесів в топці котла з мікрофакельним пальником приймаю значення діаметру амбразури пальникового пристрою 630 мм (див. рисунок 3.2).

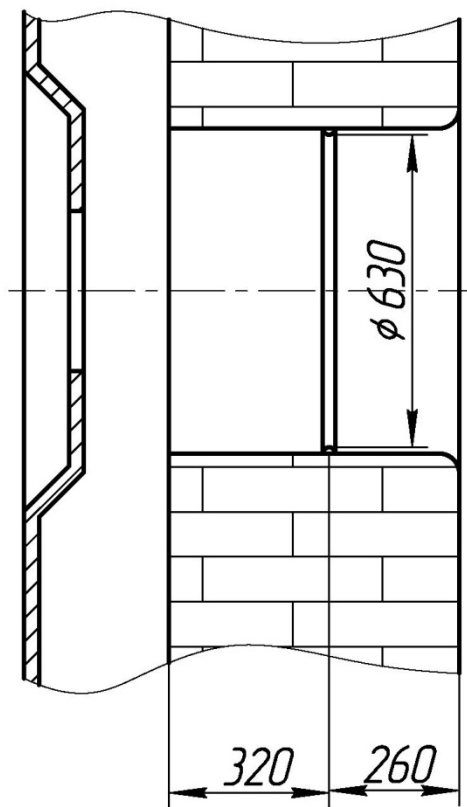


Рисунок 3.2 – Амбразура пальника у фронтівій стінці топки котла КВГМ-20

На підставі розробленої методики визначаю основні конструктивні характеристики пальника на базі мікрофакельної технології та виконую побудову трьохвимірної геометричної моделі пальника для подальшого дослідження. Вихідні дані до розрахунку основних параметрів пальника наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до розрахунку пальника МГП-20

Найменування	Позначення	Одиниця	Значення величини
Діаметр пальника у зборі	$d_{\text{пал}}$	мм	630
Діаметр трубної дошки	$d_{\text{тр.д.}}$	мм	626
Довжина повітряних трубок	$l_{\text{тп}}$	мм	180
Виступ повітряних трубок за межі трубної дошки	$h_{\text{тр}}$	мм	5
Витрата газу	$V_{\text{г}}$	м ³ /год	2560
Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	1,04
Розподіл газу (кінетика/дифузія)	-	%	50/50
Внутрішній діаметр пістонів у повітряних трубках	$d_{\text{пт}}$	мм	2
Діаметр дифузійних отворів	$d_{\text{д}}$	мм	3

1. Витрата повітря через пальник, м³/с

$$V_{\text{пов}} = \alpha \cdot V^{\circ} \cdot V_{\text{г}} \cdot \frac{(273 + t_{\text{пов}})}{273}, \quad (3.1)$$

де α - коефіцієнт надлишку повітря;

V° - теоретичний об'єм повітря, м³/м³;

$V_{\text{г}}$ - витрата природного газу на один пальник, м³/с.

$t_{\text{пов}}$ - температура повітря, що подається на горіння, °С.

За результатами розрахунку газоподібного палива $V^{\circ} = 9,52 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Беру для пальника МГП-20 $t_{\text{пов}} = 20^{\circ}\text{C}$ та $\alpha = 1,04$.

$$V_{\text{пов}} = 1,04 \cdot 9,52 \cdot 0,711 \cdot \frac{293}{273} = 7,56 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Крок розташування отворів під повітряні трубки, мм

$$t = \frac{d_{\text{тр.д.}}}{(1 + 2 \cdot n)}, \quad (3.2)$$

де n - кількість циклів, шт.

Згідно розробленої методики $n = 6$ шт.

$$t = \frac{0,626}{(1 + 6 \cdot 2)} = 48,15 \text{ мм}.$$

Згідно рекомендацій виконую схему компоновки трубної решітки (див. рисунок 3.3).

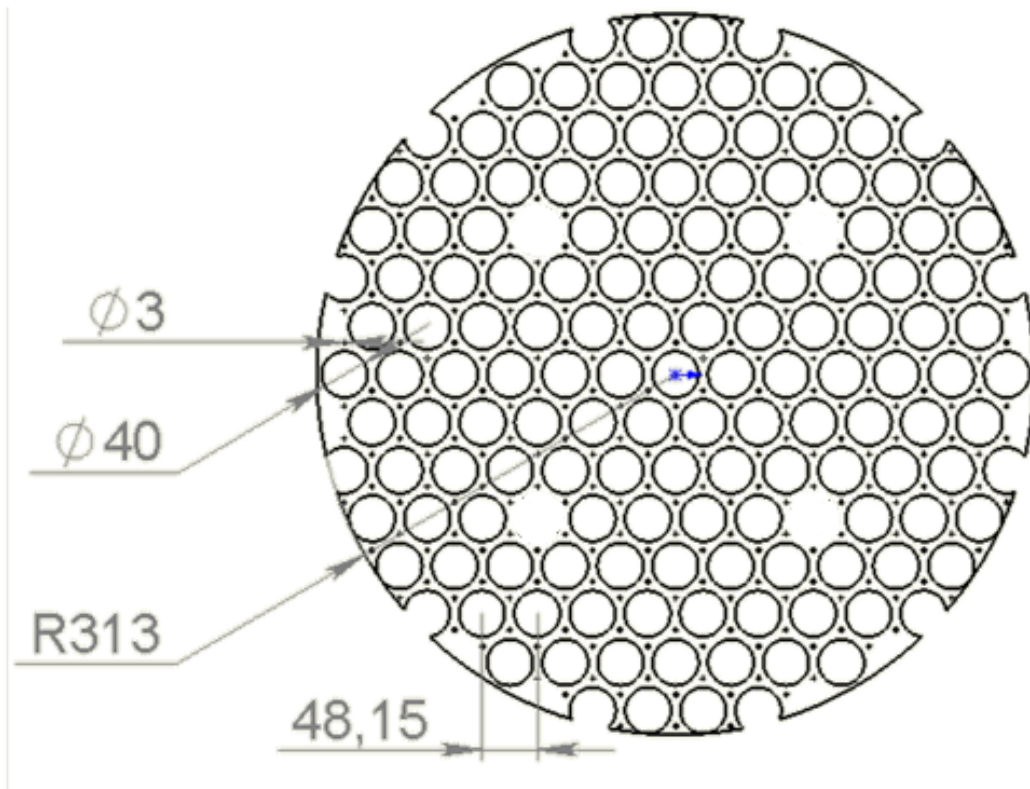


Рисунок 3.3 – Компоновка трубної дошки за результатами розрахунку

В отвори по повітрю встановлюю трубки $d_3 / d_{\text{вн}} = 40 / 36$ мм/мм.

3. Швидкість повітря на виході із трубок, м/с

$$w_{\text{пов}} = \frac{V_{\text{пов}}}{f_{\text{пов}}^{\text{заг}}}, \quad (3.3)$$

де $f_{\text{пов}}^{\text{заг}}$ – загальна площа перерізу для проходження повітря, м^2 .

$$f_{\text{пов}}^{\text{заг}} = f_{\text{пов}} + f_{\text{пов}}^{\text{сег}}, \quad (3.4)$$

де $f_{\text{пов}}$ - площа поперечного перерізу трубок для проходження повітря, м^2 ;

$f_{\text{пов}}^{\text{сег}}$ - площа перерізу бокових сегментів для проходження повітря, м^2 .

$$f_{\text{пов}} = n_{\text{пов}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}, \quad (3.5)$$

де $n_{\text{пов}}$ - кількість повітряних трубок, шт;

$d_{\text{вн}}$ - внутрішній діаметр трубки по повітрю, м.

За результатами підрахунку $n_{\text{пов}} = 135$ шт.

$$f_{\text{пов}} = 135 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,036)^2}{4} = 0,137 \text{ м}^2.$$

Використовуючи інструмент «Виміряти» в програмному середовищі «Solid Works», отримую

$$f_{\text{пов}}^{\text{сег}} \approx 0,011 \text{ м}^2.$$

Загальна площа для проходження повітря

$$f_{\text{пов}}^{\text{заг}} = 0,137 + 0,011 = 0,148 \text{ м}^2.$$

Оскільки відома об'ємна витрата повітря та загальна площа поперечного перерізу по повітрю, знаходжу швидкість повітря на виході з пальника

$$w_{\text{пов}} = \frac{7,56}{0,148} = 51,08 \text{ м/с}.$$

4. Швидкість газу на виході із отворів у трубній решітці (дифузійне горіння), м/с

$$w_{\Gamma}^{\text{д}} = \frac{V_{\Gamma}^{\text{д}}}{f_{\Gamma}^{\text{д}}}, \quad (3.6)$$

де $V_{\Gamma}^{\text{д}}$ - об'ємна витрата газу на дифузійне горіння, м³/с;

$f_{\Gamma}^{\text{д}}$ - площа перерізу для проходження газу на дифузійне горіння, м².

$$V_{\Gamma}^{\text{д}} = 0,5 \cdot V_{\Gamma}, \quad (3.7)$$

$$f_{\Gamma}^{\text{д}} = n_{\Gamma}^{\text{д}} \frac{\pi \cdot d_{\text{д}}^2}{4}, \quad (3.8)$$

де $n_{\Gamma}^{\text{д}}$ - загальна кількість дифузійних отворів, шт.

За результатами підрахунку $n_{\Gamma}^{\text{д}} = 300$ шт, а значення величини $d_{\text{д}}$ беру з таблиці 3.1.

$$V_{\Gamma}^{\text{д}} = \frac{0,5 \cdot 2560}{3600} = 0,36 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$f_{\Gamma}^{\text{д}} = 300 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,003^2}{4} = 2,12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2,$$

$$w_{\Gamma}^{\text{д}} = \frac{0,36}{2,12 \cdot 10^{-3}} = 169,8 \text{ м/с}.$$

5. Швидкість газу на виході з пістонів (на кінетичне горіння), м/с

$$w_{\Gamma}^{\text{к}} = \frac{V_{\Gamma}^{\text{к}}}{f_{\Gamma}^{\text{к}}}, \quad (3.9)$$

де $V_{\Gamma}^{\text{к}}$ - об'ємна витрата газу на кінетичне горіння, м³/с;

$f_{\Gamma}^{\text{заг}}$ - площа перерізу для проходження газу на кінетичне горіння, м².

Відповідно до таблиці 3.1 $V_{\Gamma}^{\kappa} = V_{\Gamma}^{\lambda} = 0,5 \cdot V_{\Gamma} = 0,36 \text{ м}^3/\text{с}$.

$$f_{\Gamma}^{\kappa} = n_{\text{пов}}^6 \cdot 6 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{пт}}^2}{4} + n_{\text{пов}}^4 \cdot 4 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{пт}}^2}{4}, \quad (3.10)$$

де $n_{\text{пов}}^6$ - кількість повітряних трубок з 6-мі пістонами, шт;

$n_{\text{пов}}^4$ - кількість повітряних трубок з 4-ма пістонами, шт;

4, 6 - кількість пістонів на одну трубку, шт;

$d_{\text{пт}}$ - внутрішній діаметр пістона, м.

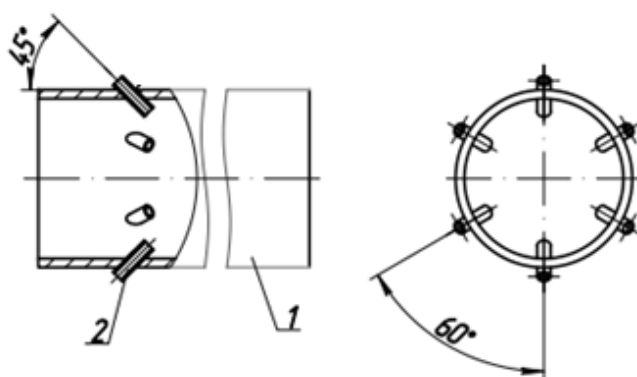
За результатами підрахунку $n_{\text{пов}}^6 = 139$ шт, $n_{\text{пов}}^4 = 12$ шт.

Значення $d_{\text{пт}} = 0,002$ м беру з таблиці 3.1.

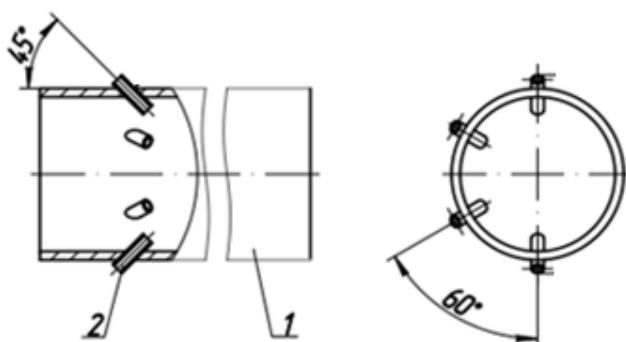
$$f_{\Gamma}^{\kappa} = 139 \cdot 6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} + 12 \cdot 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 0,00269 \text{ м}^2,$$

$$w_{\Gamma}^{\kappa} = \frac{0,356}{0,00269} = 132,4 \text{ м/с}.$$

Попередня подача газу здійснюється за допомогою пістонів, що заглиблюються в повітряні трубки (див. рисунок 3.4).



а)



б)

а) – повітряна трубка з шістьма пістонами; б) – повітряна трубка з чотирма пістонами;

1 – повітряна трубка; 2- пістон

Рисунок 3.4 - Повітряні трубки з пістонами

Використовуючи отримані дані та дані з таблиці 3.1 за допомогою програмного забезпечення «Solid Works» будую трьохвимірну геометричну модель пальника на базі мікрофакельної технології (див. рисунок 3.5).

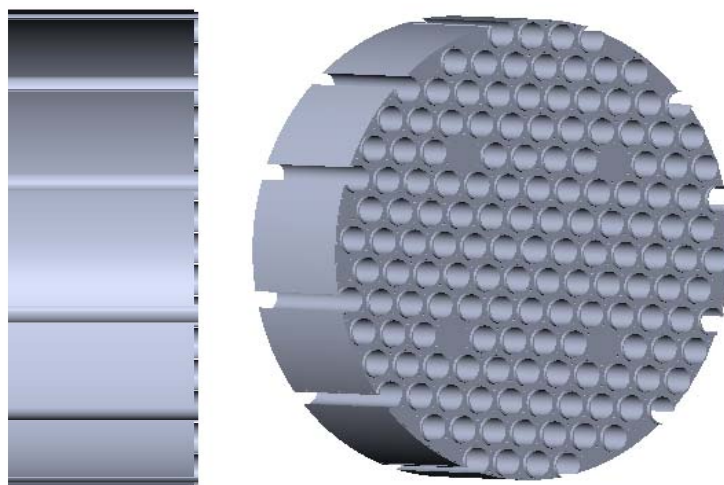


Рисунок 3.5 – Геометрична модель пальника МГП-20

Визначення втрат тиску на пальнику МГП-20 для встановленого режиму роботи проводжу у програмному забезпеченні Flow Simulation, використовуючи отриману геометричну модель пальника (див. рисунок 3.6).

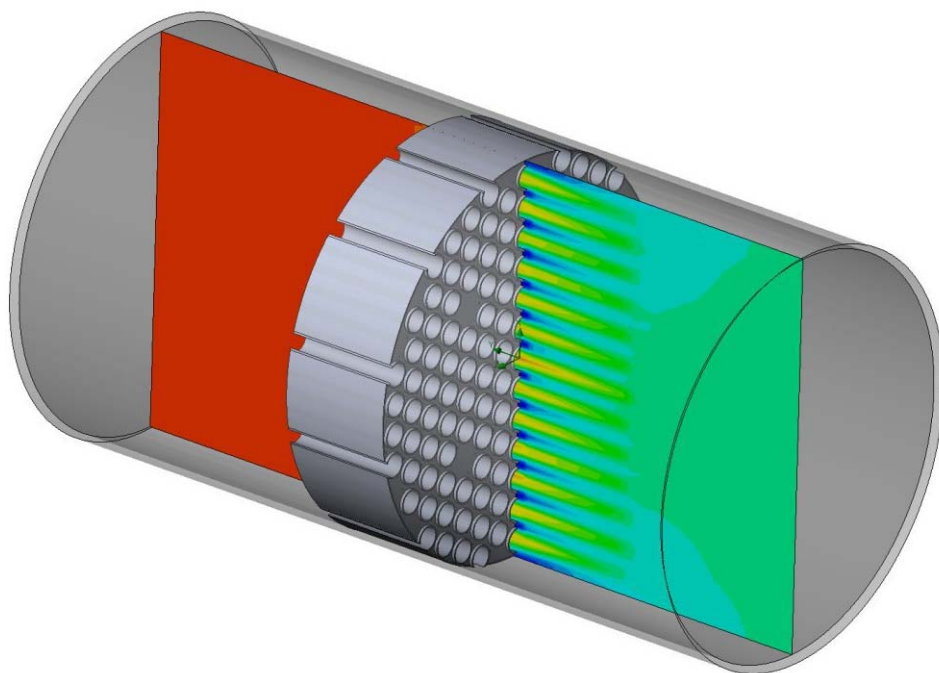


Рисунок 3.6 – Модель для визначення втрат тиску на пальнику МГП-20

За різницею тисків на вході і виході із експериментальної установки визначив втрати тиску на пальнику, що складають 1251 Па.

Для моделювання процесів сумішоутворення в топці замінив пальник РГМП-20 у попередній наявній моделі (див. рисунок 2.5) на пальник МГП-20 (див. рисунок 3.7).

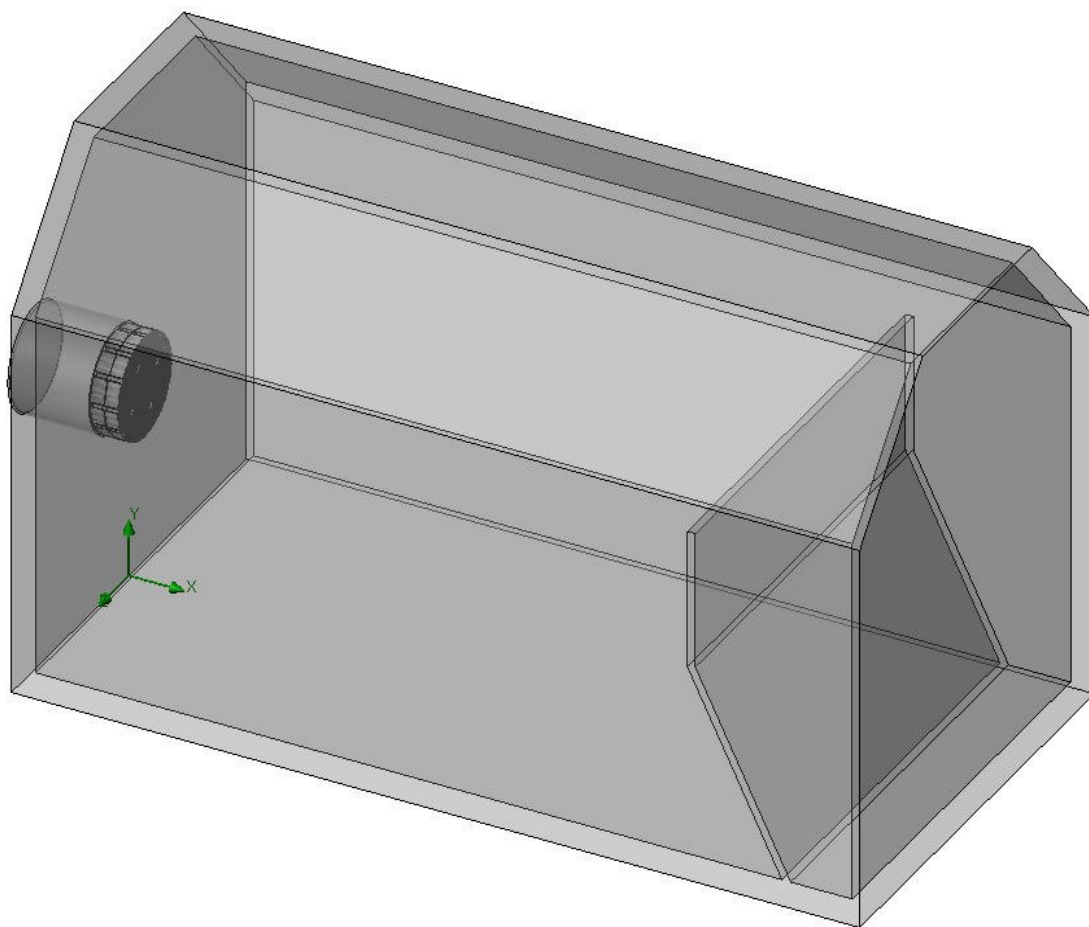


Рисунок 3.7 – Модель топки котла КВГМ-20 з мікрофакельним пальником

Для отриманої моделі топки з мікрофакельним пальником задаю наступні граничні умови (див. рисунок 3.8), а саме:

- витрата газу – $0,711 \text{ м}^3/\text{с}$;
- витрата повітря – $7,56 \text{ м}^3/\text{с}$;
- тиск на виході з топки – $101\,325 \text{ Па}$.

В місцях входу потоків (повітря і газу) та інтенсивного сумішоутворення задаю уточнену розрахункову сітку (див. рисунок 3.9), яка знизить похибку розрахунку.

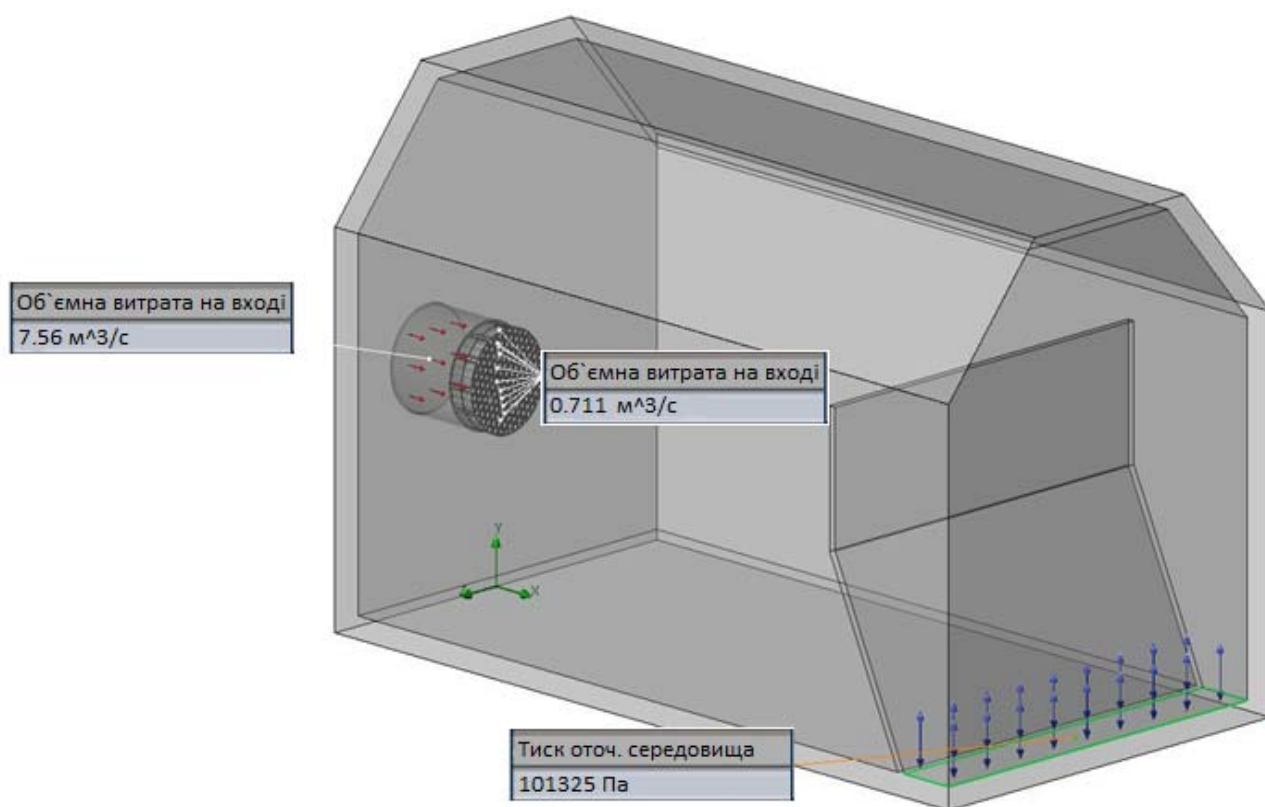


Рисунок 3.8 – Граничні умови для обрахунку з пальником МГП-20

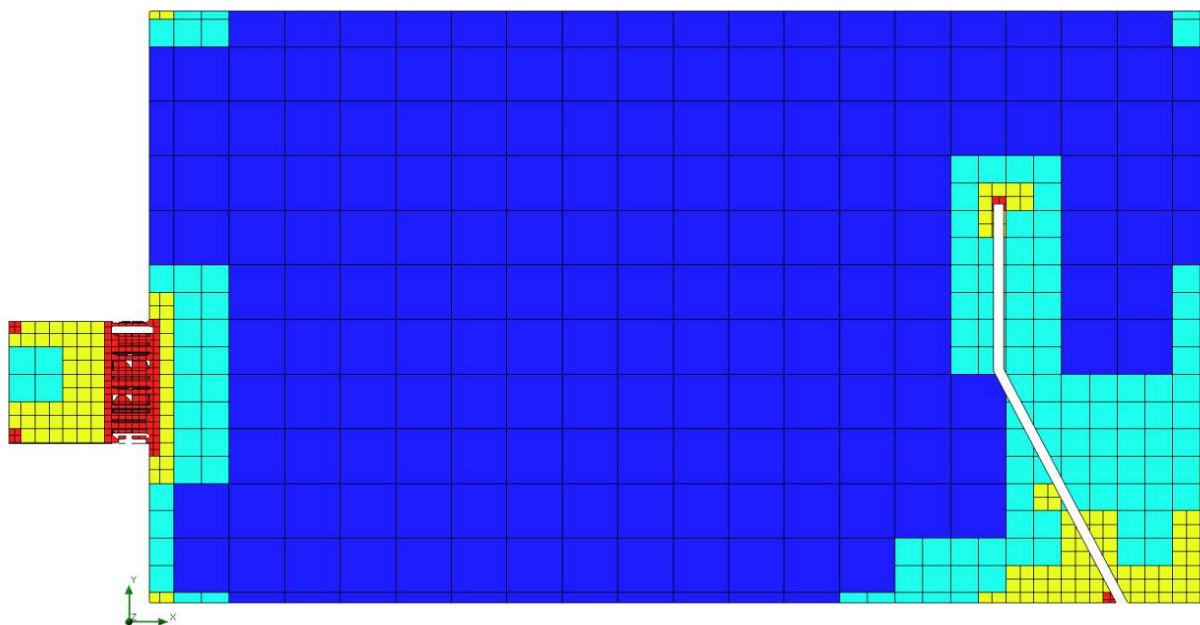


Рисунок 3.9 – Уточнена розрахункова сітка

Результати моделювання аеродинамічних процесів у топці котлоагрегату при роботі палинкового пристрою на базі мікрофакельної технології представлено на рисунках 3.10 - 3.12.

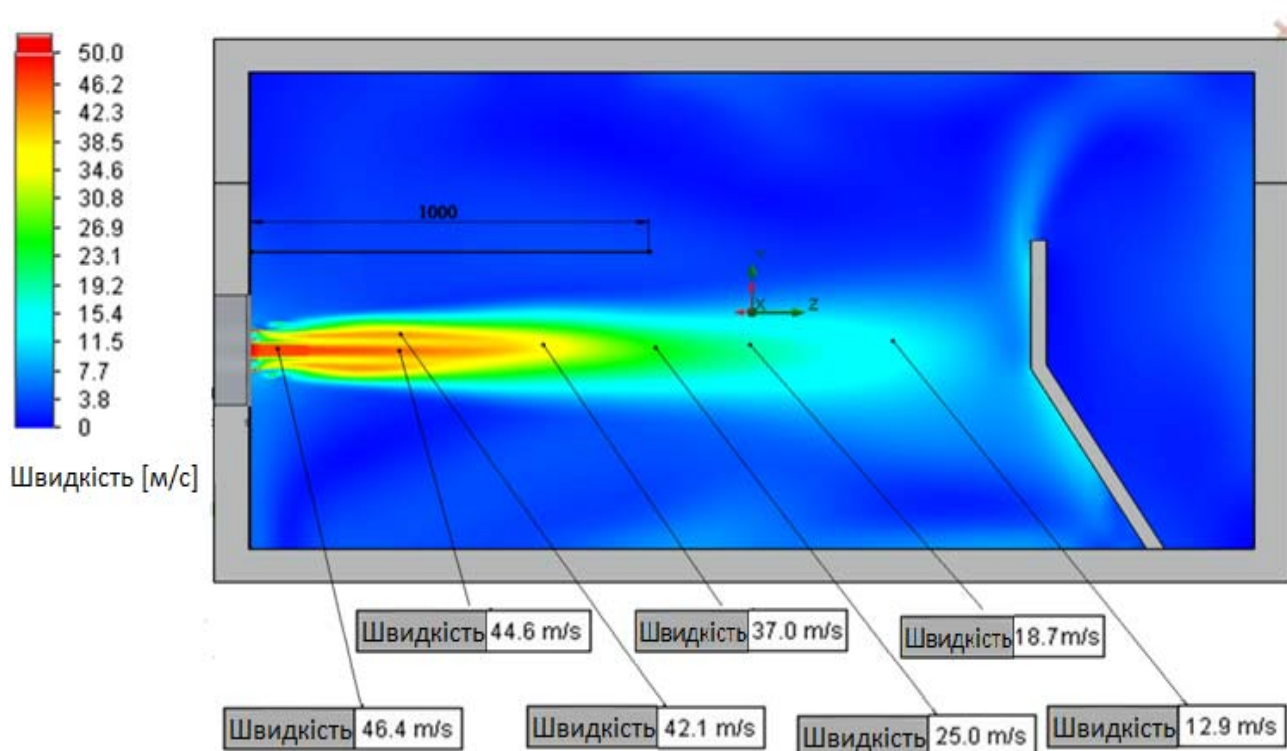


Рисунок 3.10 – Розподіл швидкостей у топці котла при роботі пальника МГП-20 у повздовжньому розрізі

Як видно з рисунку 3.10, пальник на базі мікрофакельної технології має рівномірний розподіл швидкостей газоповітряної суміші у топці котельного агрегату. Середнє значення швидкості газоповітряної суміші на виході із пальникового пристрою, отримане за допомогою моделювання, підтверджується розрахунками. Це свідчить про адекватність моделі.

На рисунку 3.11 у збільшеному вигляді зображений розподіл швидкостей газоповітряної суміші на виході з пальника та на вході у топку котлоагрегату.

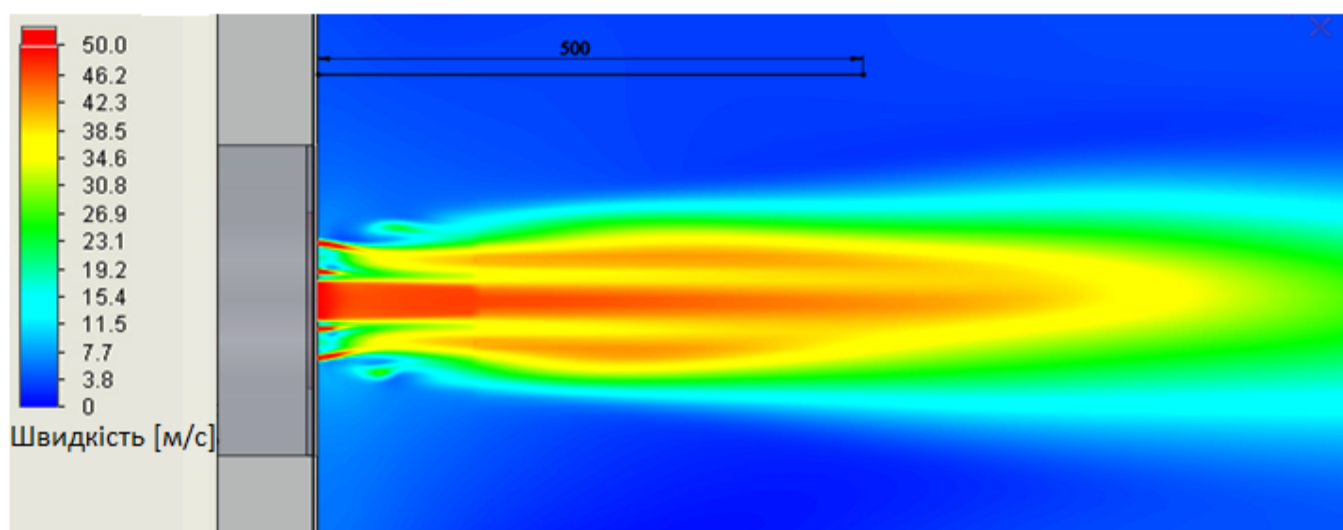


Рисунок 3.11 – Розподіл швидкостей на виході з мікрофакельного пальника у повздовжньому розрізі

Як видно з рисунку 3.11, газ виходить з отворів підводу паралельно руху повітря. Таким чином не виникає додатковий аеродинамічний опір по тракту руху повітря.

Швидкість виходу газу більша за швидкість виходу повітря. Однак вже на відстані 0,25 м швидкості повітря і газу вирівнюються, газоповітряний потік стає однорідним (див. рисунок 3.12).

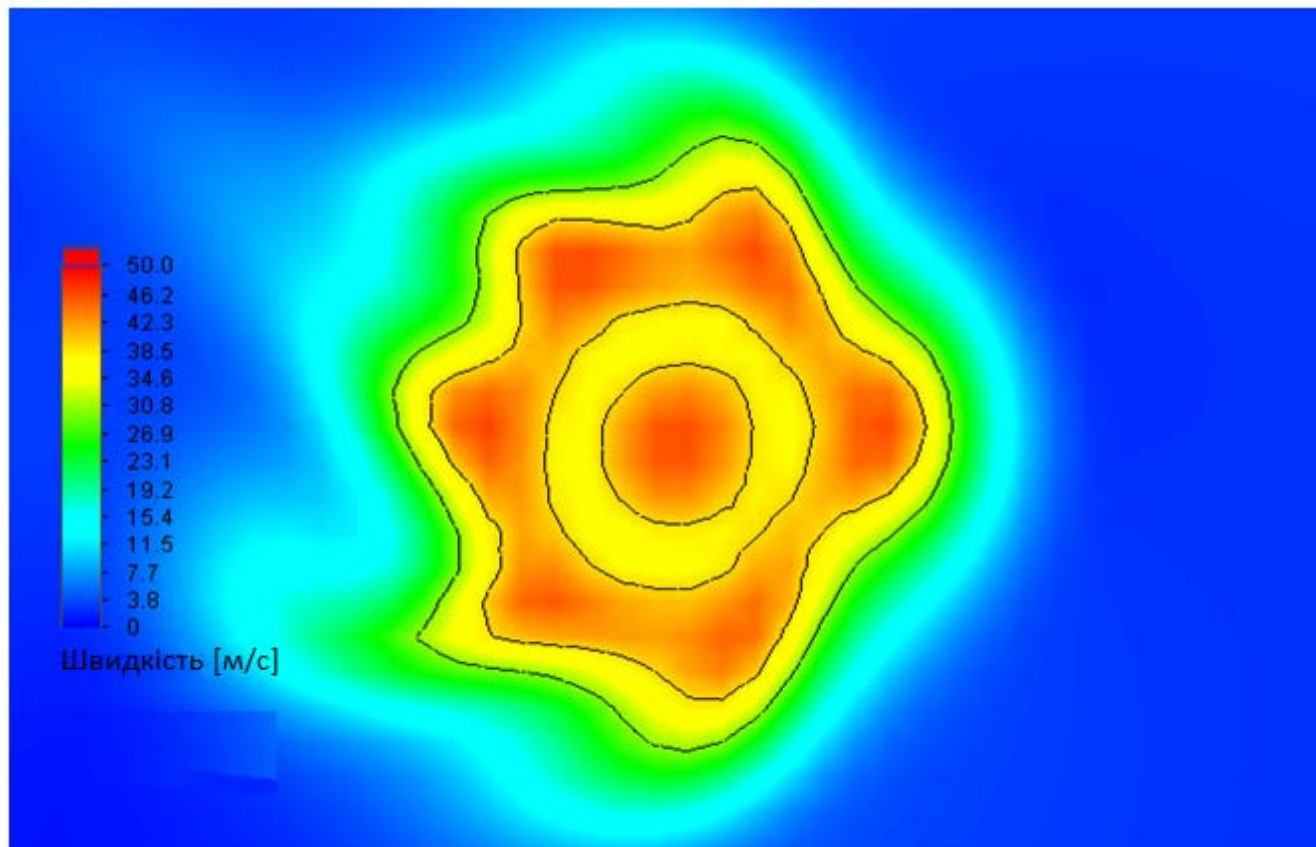


Рисунок 3.12 – Розподіл швидкостей у топці котла при роботі пальника МГП 20 у поперечному розрізі на відстані 0,25 м від амбразури пальникового пристрою

Трубною системою пальникового пристрою, яка виступає у ролі стабілізатора потоку повітря, забезпечується рівномірний розподіл повітря по повітряних трубках. Завдяки підводу газу до міжтрубного простору трубної системи пальникового пристрою досягається рівномірність розподілу газу у газовому просторі пальника та виходу газу з отворів підводу. Рівномірність поля швидкостей газоповітряної суміші у топці котлоагрегату досягається за рахунок використання прямоточності руху газоповітряної суміші.

На рисунках 3.13–3.15 зображений розподіл концентрацій газу у топці котлоагрегату із пальниковою системою на базі мікрофакельної технології.

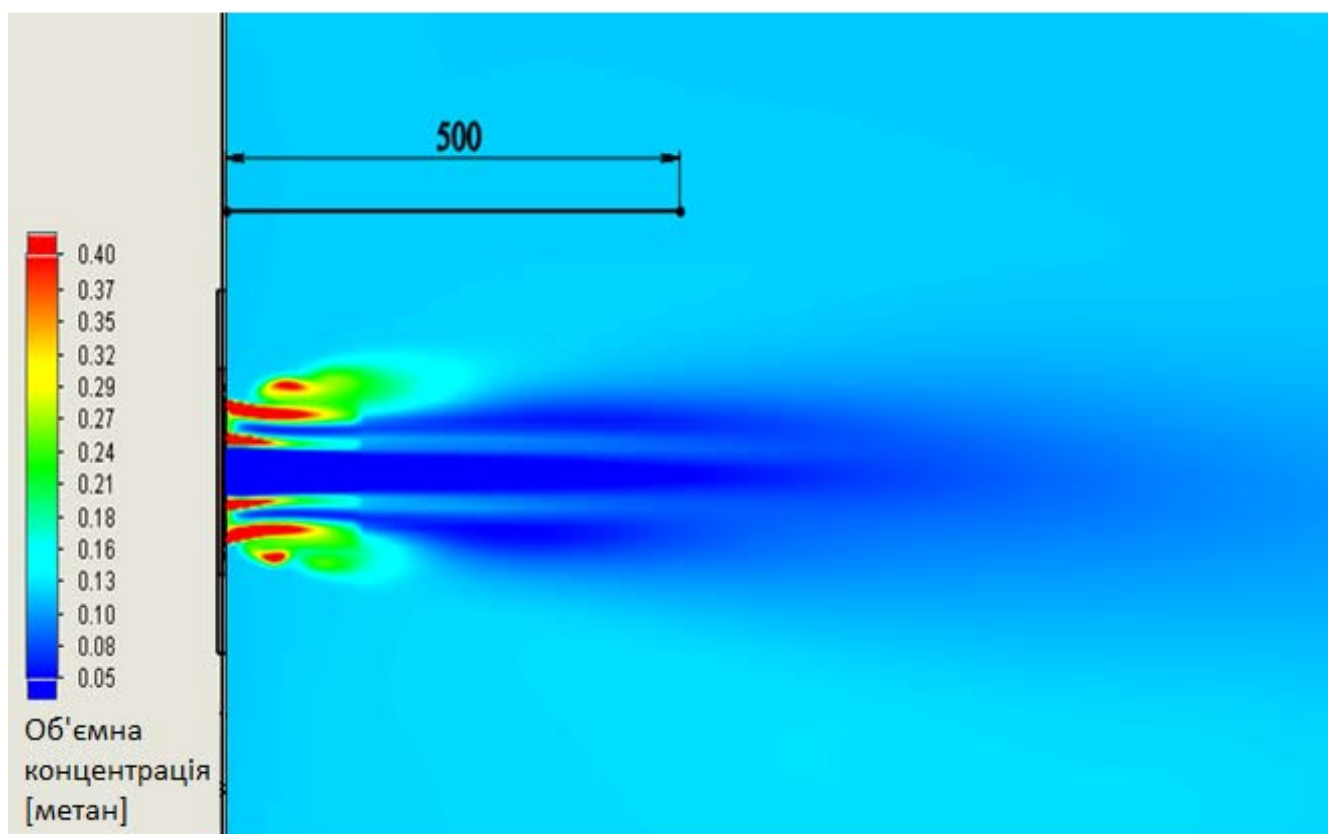


Рисунок 3.13 – Розподіл концентрацій газу у топці котла при роботі мікрофакельного пальника у повздовжньому розрізі

Як видно з рисунку 3.13, пальникова система на базі мікрофакельної технології характеризується рівномірним полем концентрацій газу на вході у топку котельного агрегату та, як наслідок, якісним сумішоутворенням. Це дозволяє пальнику на базі мікрофакельної технології забезпечувати низькі викиди шкідливих речовин в атмосферу при значеннях коефіцієнту надлишку повітря близьких до одиниці [22]. Таким чином використання пальникової системи на базі мікрофакельної технології на котельному агрегаті КВГМ-20 дозволить знизити втрати з відхідними газами (за рахунок зменшення надлишку повітря) при одночасному покращенні екологічних показників роботи котлоагрегату.

На рисунку 3.14 у збільшеному вигляді зображений розподіл концентрацій газу на виході з пальника та на вході у топку котлоагрегату.

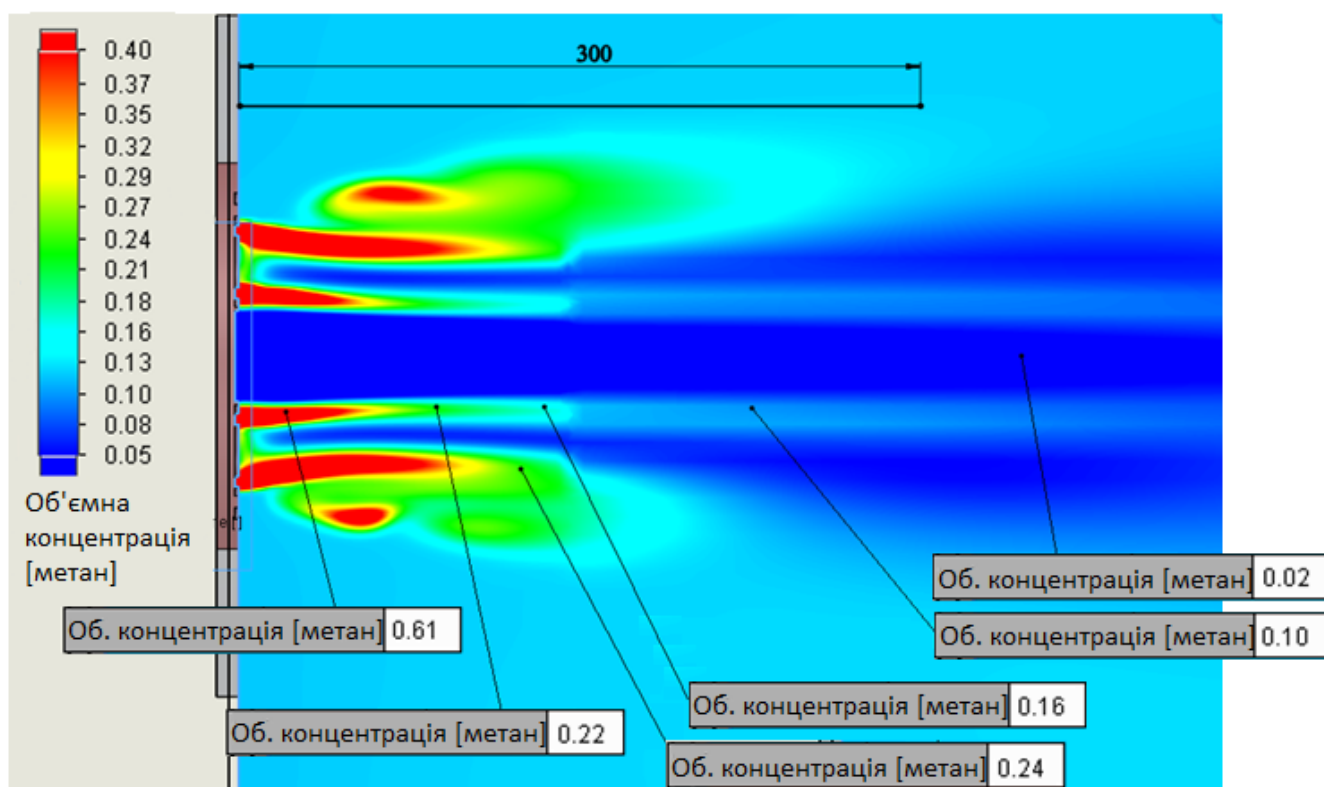


Рисунок 3.14 – Розподіл концентрацій газу на виході з мікрофакельного пальника у повздовжньому розрізі

Як бачимо з рисунку 3.14, оптимальна концентрація газу при використанні мікрофакельного пальника досягається вже на відстані 0,3 м від амбразури пальника. Це забезпечує стабільний режим горіння та надійну роботу пальникового пристрою [23].

На рисунку 3.15 зображений розподіл концентрацій газу у поперечному розрізі на вході у топку котлоагрегату при роботі мікрофакельного пальника.

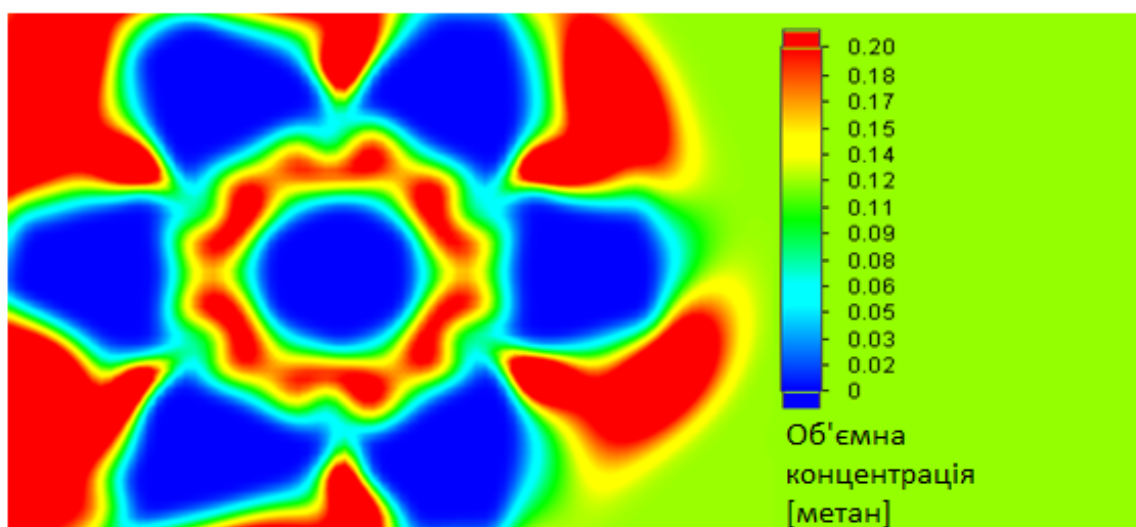


Рисунок 3.15 – Розподіл концентрацій газу у топці котла при роботі мікрофакельного пальника у поперечному розрізі на відстані 0,1 м

З рисунку 3.15 видно, що газ у газоповітряній суміші в поперечному перерізі на виході з пальника мікрофакельного типу розподіляється рівномірно [24].

Якісне сумішоутворення пальника мікрофакельного типу обумовлює коротший факел, ніж у штатного пальника. Таким чином до конвективної частини котлоагрегату надходять продукти згорання, що повністю згоріли та дещо охолодились, що призводить до збільшення моторесурсу конвективних труб.

Зменшено нерівномірність розподілу температур по об'єму топки котлоагрегату. Таким чином зменшиться локальний перегрів екранних труб, що збільшить термін їх експлуатації та зменшить зношення.

Крім того, таке сумішоутворення та такий факел сприяє зменшенню зон з локальним підвищенням температури в зоні горіння, в яких утворюються оксиди азоту (NO_x) [25].

Запропонована та розрахована конструкція пальникового пристрою на базі мікрофакельної технології для котлоагрегату КВГМ-20 забезпечує максимально повне згорання палива при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря. Крім того, аеродинамічний опір мікрофакельного пальника менше ніж аеродинамічний опір штатного пальникового пристрою. Це дає можливість експлуатувати дуттьовий вентилятор і димосос на пониженій потужності, що заощадить витрати електроенергії на їх привід.

Для моделювання процесів сумішоутворення у топці котла використано математичний апарат «Flow Simulation» комплексу програмного забезпечення «Solid Works».

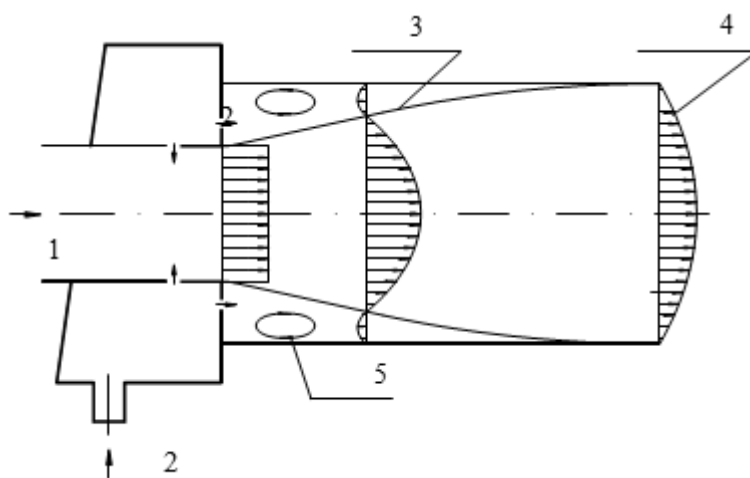
Аналізуючи розподіл швидкостей газоповітряної суміші та концентрацій газу у топці котлоагрегату КВГМ-20 можна зробити висновок, що при використанні пальникових пристроїв на базі мікрофакельної технології має місце рівномірний розподіл швидкостей газоповітряної суміші, прямоочність потоків газу і повітря. Завдяки цьому при мінімальному аеродинамічному опорі і незначному надлишку повітря забезпечується інтенсивне сумішоутворення, і як наслідок якісне згорання палива. Якісне сумішоутворення при роботі котла на мікрофакельному пальнику обумовлює коротший факел, ніж у штатного пальника. Результатом є підвищення ККД котлоагрегату, зниження шкідливих викидів в атмосферу і подовження моторесурсу поверхонь нагріву.

Результати з рівномірності мікрофакельного спалювання у реальних процесах є ще більш досконалими з рівномірного розподілу швидкостей та концентрації газоповітряної суміші у робочій зоні спалювання газу. Тому й результати спалювання у пальнику МГП-20 мають суттєві переваги перед пальником РГМП-20

За результатами проведеного моделювання та чисельних розрахунків було створене складальне креслення пальника, за яким в подальшому його виготовили та встановили на котел КВГМ-20.

3.2 Основні аеродинамічні, теплові та конструктивні переваги мікрофакельного пальника

Вибір насадка Борда як базового елемента нової технології організації горіння вуглеводневих палив обумовлений тим, що гідравлічні і аеродинамічні характеристики такого елемента сприяють реалізації «канонічних» принципів мінімізації токсичності пальників (попереднє сумішоутворення, стадійне горіння, прямоточна аеродинамічна схема). Інтенсифікація процесу сумішоутворення і стабілізація процесу горіння відбувається за рахунок існування кільцевої циркуляційної течії (вихору-стабілізатора), яка виникає у насадку Борда (зона вторинних течій на рисунку 3.16).



1 – окисник; 2 – паливо; 3 – лінія нульових швидкостей; 4 – епюр швидкостей;
5 – вихор-стабілізатор

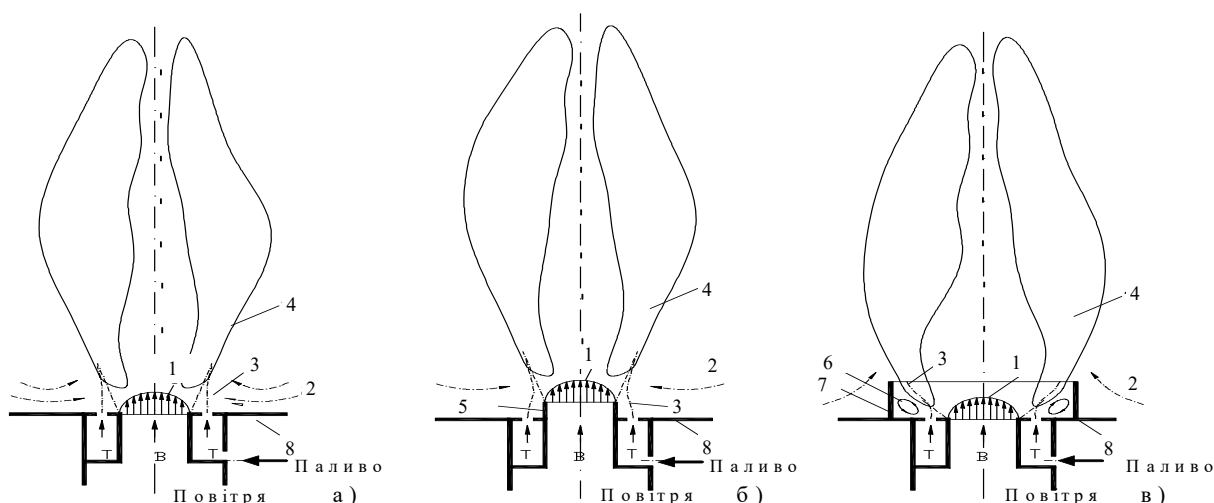
Рисунок 3.16 – Схема трубчастого модуля на базі насадки Борда

Трубчасті модулі, як і кутові стабілізатори і пілони, утворюють так називані регулярні паливоспалюючі системи, що додають універсальності конструкції пальників. Однак, при використанні трубчастих модулів у порівнянні з плоскими стабілізаторами виникає додатковий «компоновочний» ефект, що сприяє інтенсифікації тепло-масообмінних процесів.

Трубчасті модулі можуть бути виконані без та з внутрішнім і зовнішнім насадками (див. рисунок 3.17), є можливість подачі палива для попереднього, дифузійного та комбінованого сумішоутворення.

При використанні трубчастого модуля без насадка (див. рисунок 3.17, а) має місце сильна аерація кореня факела (за рахунок ежекції навколишнього повітря), у результаті чого факел відривається від зрізу повітряного каналу і зависає на деякій відстані від трубної дошки 8.

При наявності внутрішнього насадка (див. рисунок 3.17, б) рівень ежекції до кореня факела зменшується, однак відрив факела від зрізу внутрішнього насадка залишається.



а) – трубчастий модуль без насадка; б) – трубчастий модуль із внутрішнім насадком;

в) – трубчастий модуль із зовнішнім насадком: 1 - епюр швидкості;

2 – ежекція повітря; 3 – вісь газового струменя; 4 – область горіння;

5 – внутрішній насадок; 6 – тороїдальний вихор-стабілізатор факелу;

7 – зовнішній насадок; 8 – трубна дошка.

Рисунок 3.17 – Схеми розвитку дифузійних факелів у трубчастому модулі

У випадку застосування зовнішнього насадка (див. рисунок 3.14, в) ефект ежекції повітря до кореня факела практично зникає і при цьому реалізується додатковий ефект, у результаті дії якого істотно розширюються границі повітряного струменя в початкових перетинах факела. У цьому випадку виникають вторинні течії 6 (тороїдальні вихори) у периферійній частині зовнішнього насадка 7, що виконує функції форкамери і підвищує стійкість горіння та стабілізує факели спалювання.

Важливою особливістю є те, що при одноструменевої подачі повітря і багатоструменевої подачі палива реалізується ефект «обгортання» газовими струменями центрального повітряного струменя. У результаті інтенсивного перемішування в прикордонному шарі повітряного струменя виникають огортаючі локальні дифузійні факели, що утворюють практично однорідну інтегральну систему факелів.

При багатомодульному виконанні пальників відсутня необхідність в установці на кожному модулі зовнішнього насадка, тому що в цьому випадку існує природна зона розділу між сусідніми модулями, яка виконує усі позитивні функції зовнішнього насадка.

Однією з особливих властивостей факельних систем на базі трубчастих модулів є їх конструктивна та технологічна простота в поєднанні з можливістю застосування різних методів сумішоутворення в тому числі: дифузійного, попереднього та комбінованого.

3.3 Енерго-екологічні показники роботи котла КВГМ-20 з пальником МГП-20

Оцінку використання пальників на базі мікрофакельної технології проводжу на основі порівняння енерго-екологічних показників роботи котла до та після модернізації для 3-х режимів роботи.

Зняття експлуатаційних характеристик котла для кожного режиму (при роботі котла з штатними пальниками і при роботі з мікрофакельними пальниками) проводжу в обсязі одержання необхідної інформації для розрахунку.

Контроль за роботою котла здійснюється по штатним приладам.

Під час проведення випробувань фіксую та записую наступні параметри (по штатним приладам):

- витрату мережної води;
- температуру та тиск мережної води на вході в котел;
- температуру та тиск мережної води на виході з котла;
- температуру холодного повітря;
- тиск повітря перед пальниками;
- розрідження в топці;
- витрату газу;
- тиск газу за регулювальним клапаном;

Додатково за допомогою переносного газоаналізатора вимірюю:

- вміст O_2 , NO_x , CO , CO_2 у відхідних газах;
- температуру відхідних газів;
- коефіцієнт надлишку повітря.

Теплопродуктивність котла, МВт

$$Q_{ка} = G_{мв} \cdot c_p (t''_{мв} - t'_{мв}) \cdot 10^{-3}, \quad (3.11)$$

де $G_{мв}$ - витрата мережної води, кг/с;

c_p - теплоємність води, кДж/(кг °С);

$t''_{мв}$ - температура мережної води на виході з котла, °С;

$t'_{мв}$ - температура мережної води на вході в котел, °С.

ККД котла брутто за зворотнім балансом, %

$$\eta_{бп} = 100 - \sum q, \quad (3.12)$$

де $\sum q$ - сума втрат теплоти, %.

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_5, \quad (3.13)$$

де q_2 - втрати теплоти з відхідними газами, %;

q_3 - втрати теплоти від хімічного недопалу, %;

q_5 - втрати теплоти від охолодження зовнішніх поверхонь котла, %.

Величина втрати теплоти з відхідними газами (при спалюванні природного газу), %

$$q_2 = (3,53 \cdot \alpha_{\text{відх}} + 0,6) \cdot (t_{\text{відх}} - \frac{\alpha_{\text{відх}}}{\alpha_{\text{відх}} + 0,18} t_{\text{х пов}}) \cdot (0,9805 + 0,00013 \cdot t_{\text{відх}}) \cdot 10^{-2}, \quad (3.14)$$

де $\alpha_{\text{відх}}$ - коефіцієнт надлишку повітря у відхідних газах за останньою поверхнею нагріву котла;

$t_{\text{відх}}$ - температура відхідних газів за останньою поверхнею нагріву котла, °C.

$t_{\text{х пов}}$ - температура холодного повітря, °C.

$$t_{\text{х пов}} = t_{\text{з пов}} + \Delta t_{\text{дв}}, \quad (3.15)$$

де $t_{\text{з пов}}$ - температура зовнішнього повітря (визначається шляхом виміру), °C;

$\Delta t_{\text{дв}}$ - нагрів повітря в дуттьових вентиляторах, °C.

Величина втрат тепла з хімічним недопалом (при відсутності в продуктах згоряння метану), %

$$q_3 = \frac{35 \cdot CO}{CO + CO_2}, \quad (3.16)$$

де CO - концентрація оксиду вуглецю в продуктах згоряння (вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором), %;

CO_2 - концентрація двооксиду вуглецю в продуктах згоряння (вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором), %.

При наявності в продуктах згоряння метану

$$q_3 = (3,02 \cdot CO + 2,58 \cdot H_2 + 8,55 \cdot CH_4) \cdot h, \quad (3.17)$$

де H_2 - концентрація водню в продуктах згоряння (вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором), %;

CH_4 - концентрація метану в продуктах згоряння (вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором), %;

h - коефіцієнт розбавлення продуктів згоряння, %.

$$h = \frac{RO_2^{\max}}{RO_2 + CO_2 + CH_4}, \quad (3.18)$$

де $RO_2^{\max} = 11,8\%$ - максимальний об'ємний вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння при відсутності хімічної та механічної неповноти згоряння та $\alpha = 1,0$;

RO_2 - об'ємний вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння (вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором), %.

Втрати теплоти від охолодження зовнішніх поверхонь котла визначається шляхом інтерполяції в усьому діапазоні навантажень.

Витрата палива за зворотним балансом, $\text{м}^3/\text{с}$

$$B_r = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{н}}^p \cdot \eta_{\text{бр}}}, \quad (3.19)$$

де $Q_{\text{н}}^p$ - нижча теплота згорання палива, $\text{МДж}/\text{м}^3$.

Питома витрата умовного палива на вироблення 1 ГДж теплоти, $\text{кг}/\text{ГДж}$

$$b = \frac{10^3}{29,33 \cdot \eta_{\text{бр}}}, \quad (3.20)$$

де 29,33 – нижча теплота згорання умовного палива, $\text{МДж}/\text{кг}$.

Виміри і розрахунки концентрації шкідливих речовин проводжу відповідно до [16].

Масова концентрація оксидів азоту (оксидів вуглецю) у відхідних газах при коефіцієнті надлишку повітря рівному одиниці, $\text{мг}/\text{м}^3$

$$C_{\alpha=1} = C \cdot h, \quad (3.21)$$

де C - масова концентрація оксидів азоту (оксидів вуглецю), $\text{мг}/\text{м}^3$;

h - коефіцієнт розбавлення.

Питомі викиди оксидів азоту (оксидів вуглецю), $\text{мг}/(\text{кВт год})$

$$b' = \frac{3,6 \cdot C_{\alpha=1} \cdot (100 - q_4)}{L \cdot \eta_{\text{бр}}}, \quad (3.22)$$

де q_4 – втрати теплоти з механічним недопалом, %;

L - нижча теплота згорання палива, віднесена до об'єму сухих продуктів згорання, $\text{МДж}/\text{м}^3$.

Секундний викид, $\text{г}/\text{с}$

$$M_c = \frac{b' \cdot Q_{\text{ка}}}{3600}. \quad (3.23)$$

На кожному значенні вмісту кисню, після стабілізації температури відхідних газів, проводжу необхідні заміри протягом 60-90 хв при стабільній витраті газу.

Коливання тиску газу в газопроводі перед регулювальним газовим клапаном котла повинні бути не більше 10 % робочого.

Вихідні дані до розрахунку штатного пальникового пристрою наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні величини для розрахунку пальника РГМП-20

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення величини		
			Режим 1	Режим 2	Режим 3
Температура мережної води до котла	$t'_{\text{мв}}$	°C	69	70	70
Температура мережної води після котла	$t''_{\text{мв}}$	°C	94,6	105,6	116
Температура відхідних газів	$t_{\text{відх}}$	°C	108,9	124,8	146,3
Температура холодного повітря	$t_{\text{х пов}}$	°C	13	13	13
Витрата мережної води	$G_{\text{мв}}$	кг/с	68,6	68,6	68,6
Вміст кисню в відхідних газах	O_2	%	5,61	4,62	3,09
Вміст NO_x в відхідних газах	$C(NO_x)$	мг/м ³	147,82	166,68	190,85
Вміст CO в відхідних газах	$C(CO)$	мг/м ³	10,00	15,00	23,75
Калорійність газу	Q_n^p	МДж/м ³	34,32	34,32	34,32
Нижча теплота спалювання, віднесена до об'єму сухих продуктів спалювання при $\alpha = 1$	L	МДж/м ³	4,187	4,187	4,187
Надлишок повітря в відхідних газах	$\alpha_{\text{відх}}$	-	1,38	1,26	1,19

Результати розрахунку штатного пальникового пристрою за режимами наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку за режимами пальника РГМП-20

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення величини		
			Режим1	Режим 2	Режим 3
Теплонавантаження котла	$Q_{\text{ка}}$	МВт	7,344	10,24	13,22
Втрати теплоти з відхідними газами	q_2^{ϕ}	%	5,3007	5,7067	6,4763
Втрати теплоти від хімічного допалу	q_3	%	0,00381	0,00484	0,00689
Втрати теплоти в навколишнє середовище	q_5	%	0,04	0,04	0,04
ККД котла «брутто»	$\eta_{\text{ка}}^{\phi}$	%	94,66	94,25	93,48
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 ГДж теплової енергії	$b_{\text{уп}}^{\phi}$	кг/ГДж	36,02	36,18	36,47
Витрата палива по зворотному балансу	$B_{\text{г}}$	м ³ /с	0,226	0,32	0,41
Коефіцієнт розбавлення	h	-	1,39	1,32	1,21
Масова концентрація NOx при $\alpha = 1$	$C(\text{NOx})$	мг/м ³	205,46	220,02	230,93
Масова концентрація CO при $\alpha = 1$	$C(\text{CO})$	мг/м ³	16,43	20,91	29,74
Питомий викид NOx	$b'(\text{NOx})$	г/ГДж	53,71	57,95	54,95
		г/Гкал	225,06	242,82	230,24
		мг/(кВт год)	193,37	208,63	197,82
Питомий викид CO	$b'(\text{CO})$	г/ГДж	4,30	5,51	7,86
		г/Гкал	18,00	23,08	32,93
		мг/(кВт год)	15,46	19,83	28,294
Секундний викид NOx	$M(\text{NOx})$	г/с	0,110	0,165	0,202
Секундний викид CO	$M(\text{CO})$	г/с	0,009	0,016	0,029

Після встановлення пальника на базі мікрофакельної технології проводжу випробування котла КВГМ-20 в трьох режимах та отримую дані для розрахунку (див. таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 - Вихідні величини для розрахунку пальника МГП-20

Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення величини		
			Режим 1	Режим 2	Режим 3
Температура мережної води до котла	$t'_{\text{мв}}$	°C	69	69	70
Температура мережної води після котла	$t''_{\text{мв}}$	°C	95,1	105,6	117,1
Температура відхідних газів	$t_{\text{відх}}$	°C	104,2	121,7	140,1
Температура холодного повітря	$t_{\text{х пов}}$	°C	13	13	13
Витрата мережної води	$G_{\text{мв}}$	кг/с	68,6	68,6	68,6
Вміст кисню в відхідних газах	O_2	%	5,1	4,01	2,2
Вміст NO_x в відхідних газах	$C(NO_x)$	мг/м ³	56,53	62,82	74,16
Вміст CO в відхідних газах	$C(CO)$	мг/м ³	3,76	4,07	5,79
Калорійність газу	Q_n^p	МДж/м ³	34,32	34,32	34,32
Нижча теплота спалювання, віднесена до об'єму сухих продуктів спалювання при $\alpha = 1$	L	МДж/м ³	4,187	4,187	4,187
Надлишок повітря в відхідних газах	$\alpha_{\text{відх}}$	-	1,32	1,21	1,125

Загальні результати режимних випробувань пальника мікрофакельного типу наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Результати розрахунку за режимами пальника МГП-20

Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення величини		
			Режим 1	Режим 2	Режим 3
Теплонавантаження котла	$Q_{ка}$	МВт	7,495	10,51	13,55
Втрати теплоти з відхідними газами	q_2^{ϕ}	%	4,8498	5,3573	5,8844
Втрати теплоти від хімічного допалу	q_3	%	0,00117	0,00204	0,00379
Втрати теплоти в навколишнє середовище	q_5	%	0,04	0,04	0,04
ККД котла «брутто»	$\eta_{ка}^{\phi}$	%	95,11	94,60	94,07
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 ГДж теплової енергії	$b_{уп}^{\phi}$	кг/ГДж	35,85	36,04	36,24
Витрата палива по зворотному балансу	B_r	м ³ /с	0,230	0,322	0,415
Коефіцієнт розбавлення	h	-	1,331	1,286	1,178
Масова концентрація NO _x при $\alpha = 1$	$C(NO_x)$	мг/м ³	75,24	80,78	87,36
Масова концентрація CO при $\alpha = 1$	$C(CO)$	мг/м ³	5,00	5,24	6,82
Питомий викид NO _x	$b'(NO_x)$	г/ГДж	18,89	20,39	22,18
		г/Гкал	79,16	85,45	92,94
		мг/(кВт год)	68,02	73,42	79,85
Питомий викид CO	$b'(CO)$	г/ГДж	1,26	1,32	1,73
		г/Гкал	5,26	5,54	7,26
		мг/(кВт год)	4,52	4,76	6,24
Секундний викид NO _x	$M(NO_x)$	г/с	0,039	0,060	0,083
Секундний викид CO	$M(CO)$	г/с	0,003	0,004	0,007

3.4 Висновки з розділу 3

Отримані результати досліджень аеродинамічних і теплових особливостей роботи камери згоряння з пальниковою системою на базі мікрофакельної технології свідчать про наявність комплексу позитивних ефектів, які дозволяють підвищити рівень ефективності та екологічної безпеки експлуатації з одночасним подовженням робочого моторесурсу паливовикористовуючих установок за рахунок здійснення короткострокової і маловитратної модернізації пальникової системи з використанням мікрофакельної технології газоспалювання, а саме:

- можливість комплексного використання класичних та додаткових методів і способів підвищення екологічності спалювання газоподібного палива за рахунок: прямоочності руху газоповітряної суміші, комбінованого сумішоутворення (попереднього і дифузійного), стадійності і мікрофакельності спалювання, високої турбулізації і внутрішньої рециркуляції потоку;
- високий рівень рівномірності температурного поля в зоні спалювання;
- поліпшення техніко-експлуатаційних показників роботи обладнання (зменшення шуму, вібрації), які позитивно впливають на моторесурс установки;
- можливість створення пальників необмеженої теплової потужності з незмінно високим рівнем енергетичної ефективності та екологічної безпеки;
- широкий спектр регулювання навантаження установки 10 ... 100% при незмінно високому рівні екологічності спалювання палива;
- можливість проведення швидкої і недорогої модернізації установки за рахунок використання доступних матеріалів і не складних технологічних операцій;
- незначний термін окупності модернізації 5 ... 8 місяців.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Резюме проекту

Головною ідеєю проекту є розробка та виготовлення пальників нового покоління на основі мікрофакельної технології спалювання газового палива, які мають тривалий термін експлуатації та високі показники енерго-екологічної ефективності, розробка готових рішень із заміни існуючих застарілих пальників та встановлення нових на газових та твердопаливних котлоагрегатах.

Дані пальники мають значні технологічні, експлуатаційні та економічні переваги у порівнянні з іншими технологіями паливоспалювання. На відміну від своїх конкурентів, вони мають ряд переваг за рахунок того, що у мікрофакельній пальниковій системі найбільшою мірою порівняно з іншими типами пальників реалізуються принципи уніфікації (однакова схема компонування трубчастих модулів в трубних дошках для усіх різновидів пальників), універсалізації (мінімальний «набір» стандартних елементів – труба та листовий метал) та маловитратності (мінімальна металоємність, простота технології виготовлення, монтажу й експлуатації, можливість використання доступних й недорогих матеріалів та ремонтпридатність).

Пальники на базі мікрофакельної технології, здатні спалювати природний газ (та інші типи газоподібного палива) ефективно й екологічно чисто. Через якісне сумішеутворення та спалювання природного газу утворюється значно менша кількість викидів NO_x , CO , а з'єднань сірки і твердих частинок немає.

Для промислового споживача - це простота в обслуговуванні і надійність, високий діапазон регулювання та повна автоматизація технології газоспалювання. Термін служби такого пальника - не менше 10 років. Це більш ніж в два рази довше, ніж у його конкурентів, що значно збільшує можливості виходу на ринок.

Основними споживачами є багатoproфільні підприємства (будь-які заклади, що мають в господарстві парові або водогрійні котли на різних типах палива; організації, що планують оновлювати і осучаснювати існуючі пальникові системи для економії палива та зниження собівартості продукції) та багатосторонні платформи (підприємства та забудови; підприємства теплопостачання та виробництва теплової енергії).

Конкурентною перевагою є те, що в Україні діють екологічні норми, як і в ЄС, а підприємства повинні проходити контроль екологічної служби. Також енергоефективні технології спалювання і реконструкції існуючих систем заохочуються з боку держави, тому такі проекти будуть користуватись попитом.

4.2 Організація проекту

Даний проект реалізовується на теоретичній та технологічній базі НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Період створення – 01.09.2019 – 31.12.2020.

Ціль даного проекту полягає у створенні науково-дослідного відділу при кафедрі ТПТ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», що буде виконувати енергоаудит котлельного обладнання підприємств та надавати готові проектні рішення з енергоефективності та екологічної чистоти систем газоспалювання. Також відділ буде безпосередньо співпрацювати з виробниками пального обладнання та підрядними організаціями з монтажу та експлуатації котельних установок, створювати проекти встановлення та займатись налагодженням роботи пальників власної розробки.

Напрямок діяльності створюваного відділу – створення готових рішень із модернізації пальної системи енергетичних котлів; співпраця та заключення договорів з виробником та монтажно-експлуатаційними організаціями.

Для реалізації проекту планується виділення кімнатного приміщення із балансу кафедри ТПТ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», в якому буде працювати команда спеціалістів, також планується закупівля вимірювальних приладів різних типів та персональних комп'ютерів з необхідним програмним забезпеченням для надання послуг моделювання та проектування пальників.

Також слід відзначити, що діяльність відділу заснована насамперед на наукових дослідженнях різних технологій спалювання газового палива в трубчатих модулях із залученням студентів та викладацького складу кафедри. Необхідно надалі працювати в науковому напрямку задля пошуку шляхів вдосконалення систем спалювання газу. В подальшому планується заснування науково-дослідного відділу факультету, або університету, з окремим фінансуванням, для розробки стендів та інших експериментальних установок.

Проект буде являти собою науково-дослідний відділ з надання послуг, що буде стартап проектом, через низький рівень кваліфікації аналогічних компаній в Україні по заданій тематиці, та використання ними застарілих методів аналізу існуючих систем газоспалювання. Також в Україні одиниці компаній пропонують комплексні рішення, які передбачають проектування всієї пальної системи в цілому, та повний технічний супровід робіт з реконструкції із застосуванням наукових розрахунків та нових, високоточних приладів.

4.3 Канва моделі стартап-проекту

У таблиці 4.1 зведені основні позиції, з яких формується модель даного стартап-проекту.

Таблиця 4.1 – Канва моделі стартап проекту

<p>КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ Ключовими партнерами є НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», підприємства виробники обладнання та проектні організації, конкуруючі та неконкуруючі підприємства, що залучені до паливно-енергетичного сектору а також безпосередні споживачі.</p>	<p>КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ Запровадження інноваційної конструкторської проектної документації. Виготовлення пальників на газовому виді палива, та реалізація даного продукту по Україні.</p> <p>КЛЮЧОВІ РЕСУРСИ Основним ресурсом пальників побутового та комерційного сегмента, які дозволяють процеси горіння є: природний, коксовий, доменний та ін. типи газового палива.</p>	<p>ЦІННІСНІ ПРОПОЗИЦІЇ Маневреність та легкість управління пальниковою системою; скорочення витрати газу та емісії викидів, а, отже, і вартості виробленої продукції підприємствами.</p>	<p>ВЗАЄМОВІДНОСИНИ ЗІ СПОЖИВАЧАМИ Кожен споживчий сегмент очікує стабільності у постачанні продукції та її високу якість. Разом з цим споживачі розраховують на надійність, прибутковість та екологічність запропонованої технології.</p> <p>КАНАЛИ ЗБУТУ Можливі канали збуту: від регіональних ексклюзивних дилерів до власного інтернет-магазину.</p>	<p>СПОЖИВЧІ СЕГМЕНТИ Споживачі – підприємства і підрядні організації, що проводять монтажні-будівельні роботи; великий і середній бізнес, об'єкти бюджетних і комунальних підприємств; будь-які будівлі та споруди, в яких необхідно забезпечити теплопостачання.</p>
<p>СТРУКТУРА ВИТРАТ Бізнес модель передбачає інвестиційні та виробничі витрати, з яких придбання устаткування є найбільш дорогим ключовим ресурсом. Найбільших затрат серед ключових видів діяльності вимагає організація діяльності, реклама та запуск проекту.</p>		<p>ПОТОКИ НАДХОДЖЕННЯ ДОХОДІВ У проекті генеруються позитивні потоки доходів ($NPV = 1510 > 0$). Індекс рентабельності інвестицій в проект є привабливим і складає $ROI = 6,84 > 1$.</p>		

4.4 Ключові види діяльності проекту

Вид проекту за характером інновації:

- дослідно-конструкторська робота – розробка та впровадження конструкторської проектної документації та готових рішень з питань енергоекологічних схем газоспалювання;
- запровадження нової технології: створення досі неіснуючої системи мікрофакельного спалювання газового палива;
- організаційні інновації – впровадження шаблону співпраці з замовником, що передбачає надання послуг від першого спілкування з замовником до встановлення і реалізації спроектованих відділом рішень; співпраця колективу відділу в напрямку розробки наукових інноваційних технологій;
- інше – проект використовує енергоекологічні методи вдосконалення існуючих схем газоспалювання, що покращує як енергетичну так і екологічну складову ефективності існуючих систем. Такі рішення заохочуються та частково фінансуються державою.

Спрямованість проекту:

- оновлення вітчизняної технологічної бази (впровадження конструктивних рішень в існуючі системи газоспалювання для підвищення енергетичної та екологічної ефективності роботи котлів);
- економія енергоресурсів (впровадження методів мікрофакельного горіння для існуючих котлів дозволить економити кошти на витраті газу та оплати за викиди у довкілля, що, в свою чергу, приведе до зниження витрати первинних енергоресурсів і, як результат, до собівартості виготовленої продукції);
- поліпшення стану навколишнього середовища (впровадження використання мікрофакельних пальників дозволить знизити викиди шкідливих речовин, що виділяються при спалюванні газового палива).

Дані про основні бізнес процеси проекту наведено в таблиці 4.2.

Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї:

- на рівні кращих світових аналогів: дані задачі реалізуються на теоретичному рівні в науково-дослідницьких центрах.
- краща за існуючі в Україні аналоги за основними показниками.

Таблиця 4.2 - Основні бізнес-процеси проекту

Група процесів	Бізнес-процес	Ступінь опрацювання бізнес-процесу	
		є реалізованим	буде реалізованим
Розробка продукції	Розробка і конструювання продукції	+	
	Розробка і конструювання процесу	+	
	Технологічна підготовка виробництва		+
Вимоги споживачів	Дослідження розвитку ринку	+	
	Організація маркетингу і продажів		+
	Тендерне розміщення замовлень		+
Виконання замовлень	Забезпечення і матеріально-технічний збут		+
	Планування і управління виробництвом		+
	Виробництво продукції		+
	Розподіл продукції і логістика		+
Обслуговування споживача	Післяпродажне обслуговування		+
	Повернення продукції		+

Виділив сукупність переваг, які проект може запропонувати споживачу.

Змісту ідеї проекту показано в таблиці 4.3.

Характер формування споживчої цінності проекту:

– покращення задоволення існуючих потреб (використання мікрофакельних технологій газоспалювання суттєво покращить якість та легкість управління системою горіння на котлах);

– здешевлення задоволення існуючих потреб (використання мікрофакельних технологій газоспалювання усуває недоліки старих пальників з енерго-екологічної точки зору та суттєво скоротить витрати на споживання газу);

– зменшення екологічного впливу на довкілля (одним із напрямів переваг даних пальників є зменшення викидів парникового газу оксиду азоту NO_x , та відповідне зменшення виплат за наднормативні викиди підприємства).

4.5 Ціннісні пропозиції та споживачі

Таблиця 4.3 - Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Сегменти споживачів	Цінність для споживачів
Розробка та виготовлення пальників нового покоління на основі мікрофакельної технології спалювання газового палива, які мають тривалий термін експлуатації та високі показники енергоекологічної ефективності.	Джерело продукування тепла в комунальній та приватній теплоенергетиці	Комунальні та промислові підприємства	Задоволення потреб у теплопостачанні (опалення, гаряче водопостачання, технологічні потреби),
	Вироблення насиченої або перегрітої пари та гаряче водопостачання	Приватні будинки, малий і середній бізнес	Для технологічних потреб, системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Аналіз ідеї стартап-проекту наводиться в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Аналіз ідеї стартап-проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Кон-т ТОВ «Спец-газпром»			
Розташування	Близьке	Близьке	-	-	Відсутність проблем з транспортуванням
Екологічність системи	Висока	Середня	-	-	Низькі викиди оксидів азоту
Доля ринку	15% (визначено за попереднім аналізом)	25%	На етапі становлення доля ринку буде низькою	-	-
Якість	Висока	Середня	-	-	Визначено за результатами попереднього аналізу
Ціна	2000 грн/Гкал	2500 грн/Гкал	-	-	Ціна нижча за таку ж в аналогах

Технологічний аудит ідеї стартап-проекту наведений в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Технологічний аудит ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виконання комплексних рішень	Енергоаудит об'єкта в цілому, врахування всіх переваг та недоліків систем газоспалювання	+	+
Співпраця з замовником «від 'а' до 'я'»	Супровід та створення умов для замовника, в яких забезпечується мінімальна його участь в процесах реалізації готових рішень	+	+
Використання енергоощадних рішень	Маючи дані енергоаудиту використовуються технології комплексного переоснащення котельних установок та газоспалювальних систем з метою економії палива, що є розробкою відділу	+	+
Зменшення екологічного впливу на довкілля	Використання мікрофакельних технологій газоспалювання сприяє зменшенню викидів парникового газу оксиду азоту NO _x	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: методи, що будуть використані в проекті будуть реалізовані за рахунок технологій, розроблених для конкретних випадків різних типів котельного устаткування. Дана технологія є доступною через науково-технологічну базу кафедри ТПТ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» та розробку її всередині відділу.			

Аналіз сильних та слабких сторін, а також можливостей і загроз, стартап-проекту зведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони (S):</p> <ul style="list-style-type: none"> - зменшення витрати газового палива; - скорочення викидів парникових газів; - високий термін служби; - висока якість надання послуг; - ціна нижча за таку ж в аналогах. 	<p>Слабкі сторони (W):</p> <ul style="list-style-type: none"> - потреба в додаткових площах для технічного виробництва пальників; - ціна не є значно нижчою за ціну конкурентів та аналогів; - на етапі становлення доля ринку буде низькою; - мала кількість фінансових установ, що пропонують фінансові послуги для реконструкції теплоенергетики та бюджетної сфери.
<p>Можливості (O):</p> <ul style="list-style-type: none"> - виробництво конкурентноспроможної продукції; - монополізація; - розвиток енерго-екологічних технологій; - залучення закордонних інвесторів для створення дослідницьких центрів; - створення інноваційних технологій у даній сфері, їх патентування; - участь в тендерних змаганнях по проектуванню сучасних систем. 	<p>Загрози (T):</p> <ul style="list-style-type: none"> - неспівпадіння розрахованих даних з такими ж в реальних умовах; - поломка обладнання – збільшення простоїв і затрат на ремонт; - новизна технології – збільшення затрат на освоєння, зниження об’ємів виробництва; - недостатня надійність – збільшення аварійності технології; - відсутність резерву потужностей – неможливість покрити пікові потреби.

4.6 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту даного стартап-проекту зведено в загальну таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 - Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Сегмент споживачів	Особливості поведінки	Вимоги споживачів	Канали збуту	Інші аспекти взаємовідносин
Регіональні ексклюзивні дилери	Швидкість, оперативність, точність	- наявність альтернативних джерел сировини - стабільність ціни на продукцію	Приватні та комунальні підприємства	-
Власний інтернет-магазин	Можливість до оптимізації, модифікації	- стабільність виробництва теплової енергії - екологічна безпека введення даної технології	Будь-які будівлі, які необхідно забезпечити теплом	-

4.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту

Обґрунтування ресурсів та витрат проекту наведено в таблиці 4.8 – 4.12.

Таблиця 4.8 - Визначення ціни

Рівень цін на товари-замінники, тис. грн/од	Рівень цін на товари-аналоги, тис. грн/од	Рівень доходів цільової групи споживачів, тис. грн/од	Верхня та нижня межі встановлення ціни на продукцію, тис. грн/од	Розрахункова ціна продукції, тис. грн/од
40-60	40-250	2500	40-500	40

Таблиця 4.9 - Визначення обсягу виробництва продукції

Показник	Одиниця	Значення по роках				
		2020	2021	2022	2023	2024
Загальна потреба в продукції	од/рік	8	9	10	11	12
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	од/рік	8	9	10	11	12
Ціна одиниці продукції	тис. грн/од	40	44	48	53	58
Річні обсяги випуску в вартісних показниках	тис. грн	320	396	480	583	696

Таблиця 4.10 - Розрахунок загальних початкових інвестиційних витрат

Назва етапу	Терміни виконання, місяців	Обсяги фінансування, тис. грн
Проведення досліджень	1 місяць	15
Придбання устаткування	0,5 місяця	130
Рекламні витрати	0,5 місяць	10
Витрати на управління	0,5 місяця	10
Інші витрати	-	2
Разом	2,5 місяців	167

Таблиця 4.11 - Розрахунок виробничих витрат

Стаття витрат	Одиниця	Сукупні витрати за період				
		2020	2021	2022	2023	2024
Загальногосподарські витрати	тис. грн	3	4	5	6	7
Витрати на оренду та утримання приміщень, обладнання	тис. грн	5	5	5	5	5
Комунальні витрати	тис. грн	36	36	36	36	36
Витрати на збут, просування та рекламу	тис. грн	24	24	24	24	24
Витрати на оплату праці	тис. грн	10	8	6	4	2
Інші витрати (якщо є)	тис. грн	120	120	120	120	120
Разом		0	0	0	0	0

Таблиця 4.12 - Розрахунок загальних витрат на реалізацію стартап-проекту за роками

Показник	Одиниця	Значення по роках					Разом
		2020	2021	2022	2023	2024	
Інвестиційні витрати	тис. грн	167	152	137	122	107	685
Виробничі витрати	тис. грн	195	193	191	189	187	955
Обсяг загальних витрат, в тому числі за рахунок	тис. грн	362	345	328	311	294	1640
– власних коштів	тис. грн	0	345	328	311	294	1278
– коштів інвестора	тис. грн	362	0	0	0	0	362

4.8 План робіт та партнери стартап-проекту

План поставлених робіт, а також партнери, що будуть залучені до стартап-проекту, наведено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 - План робіт та партнери стартап-проекту

Бізнес-процес проекту	Термін виконання	Виконавець, співвиконавці	Результат
Розробка та конструювання продукції	5 місяців	Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблений вид продукції
Розробка і конструювання процесу		Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблений процес виготовлення продукції
Технологічна підготовка виробництва		Спільні підприємства для запуску проектів	Підготовлене виробництво
Дослідження розвитку ринку	2 місяці	Спільні підприємства для запуску проектів	Результати ринкових досліджень
Організація маркетингу і продажів	3 місяці	Співробітництво між неконкуруючими компаніями	Рекламна кампанія, угоди зі споживачами

4.9 Грошовий потік та економічна оцінка стартап-проекту

Визначення крапки беззбитковості проекту.

Крапка беззбитковості відображає обсяг виробництва інноваційної продукції, при досягненні якого виручка від реалізації покриває сумарні витрати на її виробництво. Розрахунок точки беззбитковості проводжу за формулою

$$T = \frac{C}{P - V}, \quad (4.1)$$

де C – постійні витрати на весь обсяг продукції (ті, які не залежать від обсягу виробництва продукції – загальногосподарські витрати та витрати на оплату праці, визначені в табл. 4.11), тис. грн;

P – ціна одиниці продукції, тис. грн/од;

V – змінні витрати на одиницю продукції (ті, які пропорційно залежать від обсягу виробництва продукції – витрати на матеріальні ресурси, визначені в таблиці 4.11), тис. грн.

Результати визначення крапки беззбитковості проекту зведено в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Визначення крапки беззбитковості проекту

Стаття витрат	Одиниця	Сукупні витрати за період				
		2020	2021	2022	2023	2024
Загальногосподарські витрати	тис. грн	3	4	5	6	7
Витрати на оплату праці	тис. грн	5	5	5	5	5
Постійні витрати на весь обсяг продукції (C)	тис. грн	120	120	120	120	120
Ціна одиниці продукції (P)	тис. грн/од	125	125	125	125	125
Витрати на матеріальні ресурси (комплектуючі. сировина)	тис. грн	40	44	48	53	58
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	од/рік	50	40	30	20	10
Змінні витрати на одиницю продукції (V)	тис. грн/од	8	9	10	11	12
Точка беззбитковості, T	-	0	0	0	0	0

Рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

Формування грошового потоку від реалізації проекту.

Чистий дисконтований дохід (NPV, Net Present Value) – це різниця між надходженнями за весь період інноваційного проекту та інвестиціями в проект. Результати розрахунку акумульованого грошового потоку наведено в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15 - Формування грошового потоку від реалізації проекту

Показник	Одиниця	Значення по роках					Разом
		2020	2021	2022	2023	2024	
Надходження від проекту (виручка від реалізації продукції, послуг)	тис. грн	320	396	480	583	696	2475
Загальні витрати (I), в тому числі	тис. грн	195	193	191	189	187	1613
Грошовий потік ($3 = 1 - 2$) (CF)	тис. грн	125	203	289	394	509	1520
Акумульований грошовий потік (ACF)	тис. грн	-70	10	98	205	322	-

$NPV = 1520 > 0$ протягом розрахункового періоду – інноваційний проект доцільно прийняти.

Розрахунок індексу рентабельності інвестицій в проект (ROI).

(ROI, Return On Investment) характеризує рівень грошового потоку, що припадає на одиницю інноваційних витрат і обчислюється за формулою (інвестиція здійснюється одноразово):

$$ROI = \sum_T D_t / I, \quad (4.2)$$

де D_t – надходження у відповідному періоді, тис. грн;

I – разова інвестиція, тис. грн.

$$ROI = \frac{2475}{362} = 6,84.$$

$ROI = 6,84 > 1$ – інноваційний проект доцільно прийняти. Чим більшим є значення цього показника, тим вищою є віддача кожної грошової одиниці, інвестованої в інноваційний проект. Критерій ROI використовують при виборі певного проекту із декількох альтернативних, у яких NPV приблизно однакові.

Період окупності інвестицій ($T_{ок}$).

Це розрахунковий термін від початку реалізації проекту, починаючи з якої акумульований грошовий потік (ACF) приймає стійке позитивне значення. Іншими словами, це – період, починаючи з якого первинні вкладення і інші витрати, пов'язані з інвестиційним проектом, покриваються сумарними результатами його здійснення.

Термін окупності, років, розраховую за формулою

$$T_{ок} = t + \frac{|ACF_{T-}|}{|ACF_{T-}| + |ACF_{T+}|}, \quad (4.3)$$

де t – останній період реалізації проекту, при якому акумульований грошовий потік (різниця накопиченого доходу і витрат) приймає від'ємне значення (ACF) – у формулі зазначається порядковий номер періоду від початку фінансування);

$|ACF_{T-}|$ – остання від'ємна різниця накопиченого доходу та витрат, тис. грн;

$|ACF_{T+}|$ – перша позитивна різниця накопиченого доходу та витрат, тис. грн.

$$T_{ок} = 1 + \frac{70}{70+10} = 1,88 \text{ років.}$$

Період окупності інвестицій складає 1,88 років.

4.10 Висновки з розділу 4

За розглянутими пунктами можна побачити, що даний проект є прибутковим, а найголовніше, – ефективним рішенням питання енерго-екологічного спалювання газового палива на підприємствах теплоенергетики в Україні. Крім цього реалізація даного проекту може покласти початок масовому переведенню комунальної теплоенергетики України на мікрофакельну технологію спалювання в газових пальниках. Для реалізації проекту необхідно інвестувати 362 тис. грн. Період окупності інвестиційних відрахувань складає всього 1,88 років, індекс рентабельності інвестицій в проект за 5 років становить 6,84 одиниці, а рівень беззбитковості за проектом може бути досягнутий вже у перший рік введення проекту в дію.

ВИСНОВКИ

Отримані в даній магістерській дисертації результати досліджень аеродинамічних і теплових особливостей роботи котла КВГМ-20 №8 КТМ РК «ВЕРКОН», м. Київ з пальниковою системою на базі мікрофакельної технології газоспалювання свідчать про наявність комплексу позитивних ефектів, які дозволяють підвищити рівень енергетичної ефективності та рівень екологічної безпеки експлуатації, а саме:

- можливість комплексного використання класичних та додаткових методів і способів підвищення екологічності спалювання газоподібного палива за рахунок: прямоочності руху газоповітряної суміші, комбінованого сумішоутворення (попереднього і дифузійного), стадійності і мікрофакельності спалювання, високої турбулізації і внутрішньої рециркуляції потоку;

- широкий спектр регулювання навантаження установки 10 ... 100% при незмінно високому рівні екологічності спалювання палива.

- поліпшення техніко-експлуатаційних показників роботи обладнання (зменшення шуму, вібрації), які позитивно впливають на моторесурс установки;

- можливість створення пальників необмеженої теплової потужності з незмінно високим рівнем енергетичної ефективності та екологічної безпеки;

- високий рівень рівномірності температурного поля в зоні спалювання;

Розрахований стартап проект з виготовлення пальників на базі мікрофакельної технології є прибутковим, а найголовніше – ефективним рішенням з покращення енерго-екологічних показників спалювання газового палива на теплоенергетичних підприємствах в Україні. Крім цього реалізація даного проекту може покласти початок масовому переведенню об'єктів комунальної теплоенергетики України на мікрофакельну технологію спалювання в газових пальниках. Для реалізації проекту необхідно інвестувати 362 тис. грн. Період окупності інвестиційних відрахувань складає всього 1,88 років, індекс рентабельності інвестицій в проект за 5 років становить 6,84 одиниці, а рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нечепуренко Д.С. Дослідження секторів централізованого теплопостачання країн Європи та України/ Д.С. Нечепуренко, Т.В. Данилова// Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. –Київ: Техніка, 2018. –Вип. 2. –С. 331–336
2. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення [Електронний ресурс]. –Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=51507, вільний. –(дата звернення: 03.02.2020)
3. Директива 2001/80/ЄС Європейського Парламенту та Ради «Про обмеження викидів речовин від крупних установок спалювання, що забруднюють повітря» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_913, вільний. –(дата звернення: 03.02.2020)
4. Білодід В.Д. Наукові основи формування та оптимізація паливно-енергетичних балансів/ В.Д. Білодід// Проблеми загальної енергетики. –2015. –№ 1. –С. 39–46
5. Зарубіжний досвід розвитку систем централізованого та автономного тепло- та електропостачання. [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/5.-TSentralizovane-ta-avtonomne-teplozabezpechennya.pdf>, вільний. –(дата звернення: 03.02.2020)
6. Плешков П.Г. Аналіз стану та пропозиції щодо заходів модернізації теплоенергетичної промисловості/ П.Г.Плешков, П.Г.Стець// Наукові записки. –2012. –№ 12. –С. 36–41
7. P. Bertoldi, B. Atanasiu. Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union - Status report [Електронний ресурс]. –Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/250021159_Electricity_Consumption_and_Efficiency_Trends_in_the_Enlarged_European_Union_-_Status_report_2006, вільний. –(дата звернення: 03.02.2020)
8. Дорошенко О.В. Досвід теплопостачання міст у країнах ЄС/ О.В.Дорошенко, В.В. Дорошенко// Комунальне господарство міст. –2014. –№ 116. –С. 32–36
9. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2018 році (Річний звіт, постанова № 440) [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3>, вільний. –(дата звернення: 03.02.2020)
10. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>, вільний. –(дата звернення: 04.02.2020)

11. Sigal O. Ways of reduction of natural gas consumption in municipal heat energy sector/ O. Sigal// Thermophysics and Thermal Power Engineering. –2017. –Vol. 39(4). –P. 53-59
12. Орумбаев Р.К. Основные направления технического перевооружения водогрейных котлов типа ПТВМ и КВГМ/ Р.К. Орумбаев, А.А. Кибарин// Новое слово в науке и практике: Гипотезы и апробация результатов исследований: сб. материалов. –С. 98–104
13. Піонтковська І.А. Екологічна політика України/ І.А. Піонтковська, І.Ю. Сівальнева, Н.В. Сосонкіна// Екологічна політика України. –2000. –№ 10. –С. 43–50
14. Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел: наказ [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06> , вільний. –(дата звернення: 05.02.2020)
15. Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт: наказ [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1110-08>, вільний. –(дата звернення: : 05.02.2020)
16. Методическое пособие по проведению комплексных эколого-теплотехнических испытаний котлов, работающих на газе и мазуте [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/142/>, вільний. –(дата звернення: 06.02.2020)
17. Вольчин І.А. Особливості досягнення скорочення викидів забруднюючих речовин в теплоенергетиці України/ І.А. Вольчин, О.Ф. Буляндра// Вугільна теплоенергетика: проблеми реабілітації та розвитку: зб. тез доповідей. –С. 92–94
18. Вольчин І.А. Національний план скорочення викидів/ І.А. Вольчин, І.А. Ращепкін// Вугільна теплоенергетика: проблеми реабілітації та розвитку: зб. тез доповідей. –С. 23–26
19. Пат. 98095 Україна, МПК F 23 D 14/02, F 23 D 14/22. Низькоемісійний газовий пальник трубчастого типу з направленим повітряним потоком/ Г.Б. Варламов, К.О. Приймак, П.О. Позняков, Н.В. Оліневич (Україна). – № 201113153; заявл. 08.11.11; опубл. 10.04.12, Бюл. № 7
20. Пат. 50168А Україна, МПК F 23 D 14/02, F 23 D 14/22. Газовий пальник / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, Г.С. Марченко, В.О. Макаренко (Україна). – № 2001117468; заявл. 01.11.01; опубл. 15.10.02, Бюл. № 10
21. Пат. 56602А Україна, МПК F 23 D 14/02, F 23 D 14/22. Газовий пальник / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, Г.С. Марченко, В.О. Макаренко, Г.О. Мікулін (Україна). – № 2002076319; заявл. 29.07.02; опубл. 15.05.03, Бюл. № 5

22. Особенности эмиссии NO_x и CO в горелках на базе трубчатых модулей / Г.Н. Любчик, С.А. Левчук, Г.Б. Варламов и др. // Энергетика: економіка, технології, екологія. –2001. –№ 4. –С. 59–63
23. Использование конструктивных особенностей и аэродинамических эффектов насадка Борда при создании малотоксичных топливосжигающих модулей/ Г.Н. Любчик, Г.Б. Варламов, Г.А. Микулин и др.// Технологические системы. –2002.–№ 1. –С. 130–133
24. Використання трубчастих модулів як елементів інтенсифікації горіння та підвищення енерго-екологічної ефективності газових пальників/ Г.О. Мікулін, Г.М. Любчик, Г.Б. Варламов і ін. // Экотехнологии и ресурсосбережение. –2003.–№ 4. –С. 58–65
25. Емісійні характеристики пальників на базі трубчастих модулів/ Г.М. Любчик, Г.С. Марченко, Г.Б. Варламов і ін. // Экотехнологии и ресурсосбережение. –2004. –№ 1. –С. 73–79

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан теплоенергетичного
факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ Евген ПИСЬМЕННИЙ
березня 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заст. головного інженера
з експлуатації теплогерел
СП «КИЇВСЬКІ ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ»
КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО»

_____ Олег ШЕЛЕСТ
березня 2020 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на науково-дослідну роботу

«Застосування інноваційної мікрофакельної технології газоспалювання для підвищення енерго-екологічних показників роботи котла КВГМ-20»

1. Термін виконання роботи

Початок – 10.03. 2020 р.
Закінчення – 10.05. 2020 р.

2. Обґрунтування для виконання роботи: Для України, що підписала Паризький протокол щодо дотримання екологічних норм під час виробничих процесів на підприємствах усіх галузей економіки, є важливим впровадження Європейських норм за відповідними екологічними Директивами ЄС у енергетичній галузі. Виконання даної роботи пов'язано з необхідністю підвищення екологічних показників енерговиробництва з високим рівнем енергетичної ефективності експлуатації котельних агрегатів, що використовують органічне паливо.

3. Мета роботи: Метою роботи є розробка заходів з підвищення енергетичної ефективності та екологічної чистоти експлуатаційних характеристик котла типу КВГМ-20 за рахунок аналізу недоліків експлуатації штатної паливкової системи, здійснення моделювання та оптимізації аеродинамічних та теплових процесів у топці котла, обґрунтуванням та проведенням модернізації котла заміною палиника, що реалізує мікрофакельну технологію газоспалювання.

4. Зміст основних етапів виконання роботи:

- 1) Дослідження та аналіз спалювання та теплопередачі у топці котла;
- 2) Розрахунок аеродинамічних характеристик штатного та мікрофакельного палиників;
- 3) Моделювання сумішеутворюючих процесів штатного та мікрофакельного палиників;
- 5) Обґрунтування необхідності проведення модернізації паливкової системи;
- 6) Визначення конструктивних особливостей мікрофакельного палиника;
- 7) Аналіз енерго-екологічних показників роботи котла з використанням мікрофакельного палиника.

5. Матеріали, що подаються після закінчення роботи

- 5.1. Магістерська дисертація.
- 5.2. Довідка про впровадження результатів.

6. Порядок розгляду і приймання роботи

Результати роботи розглядаються на засіданні ЕК із захисту атестаційних робіт освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» освітньо-наукової програми «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження».

Керівник роботи

Зав.каф ТПТ ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ Геннадій ВАРЛАМОВ
«13» березня 2020 р.

Виконавець

Студент гр. ТП-81мн,
ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ Михайло МУХІН
«13» березня 2020 р.

Додаток Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заст. головного інженера
експлуатації теплоджерел
СП «КИЇВСЬКІ ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ»
КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО»



Олег ШЕЛЕСТ
травня 2020р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів магістерської дисертації студента другого (магістерського)
рівня вищої освіти ТЕФ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

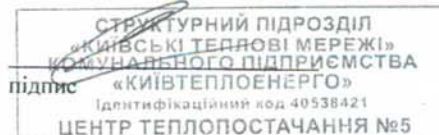
Мухіна Михайла Сергійовича

Результати магістерської дисертації магістра НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» Мухіна М.С. за темою: «Застосування інноваційної мікрофакельної технології газоспалювання для підвищення енерго-екологічних показників роботи котла КВГМ-20» впроваджено виконувались на реальному обладнанні. під час проведення модернізації паливкової системи котла.

Магістром виконані попередньо дослідження та аналіз спалювання та теплопередачі у топці котла зі штатним паливом, розрахунок аеродинамічних характеристик паливників, на основі моделювання сумішеутворюючих процесів у паливниках обґрунтовано доцільність проведення модернізації паливкової системи, визначено конструктивні особливості мікрофакельного паливника та його монтажні розміри у амбразуру котла, проведено аналіз енерго-екологічних показників роботи котла з використанням мікрофакельного паливника.

Технічне завдання виконано у повному обсязі.

Начальник ЦТ-5 Панасюк П.М.



Додаток В

Режимні карти роботи котла КВГМ-20 №8 КТМ РК «ВЕРКОН» зі штатною паливковою системою

РЕЖИМНА КАРТА (Зимовий період)
ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА КВ-ГМ-20 ст.№ 8 РК "ВЕРКОН"
(паливо - ПРИРОДНИЙ ГАЗ)

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Головний інженер СВПКТМ
А.І.Васильєв
30 березня 2017р.

	НАЙМЕНУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ	ПОЗНА- ЧЕННЯ	РОЗМІР- НІСТЬ	ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ (%) :											
				25	26	30	35	37	40	44	48	52	55	57	
ВОДА	Теплопродуктивність котла	Q_{κ}^{6p}	Гкал/год	4,97	5,20	6,09	6,98	7,42	8,08	8,78	9,66	10,33	10,98	11,42	
	Витрата мережної води	D_{mb}	т/год	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	
	Тиск мережної води на вх. в котел	P_{mb}^{*}	кГс/см ²	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
	Тиск мережної води на вих. з котла	P_{mb}^{*}	кГс/см ²	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	
	Температура мережної води на вх. в котел	T_{mb}^{*}	оС	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
	Температура мережної води на вих. з котла	T_{mb}^{*}	оС	90,1	91,0	94,7	98,3	100,0	102,7	105,5	109,1	111,8	114,5	116,2	
ПАЛИВО	Тиск газу в колекторі	P_{κ}	кГс/см ²	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	
	Тиск газу на пальник (манометр)	P_r	х10кПа	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	
	Витрата газу по зворотному балансу	$V_{гзв}$	нм ³ /год	643	671	780	894	952	1039	1130	1248	1337	1425	1479	
	Витрати газу	V_r	нм ³ /год	750	875	980	1140	1210	1320	1430	1600	1715	1810	1890	
ПОВІТРЯ	Тиск повітря на котел	$P_{дв}$	кПа	0,09	0,11	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,41	0,45	
ВІДХІДНІ ГАЗИ	Розрідження в топці	S_t	кГс/м ²	0,2	0,2	0,2	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	
	Приведена температура відхідних газів	$t_{вр.пр}$	оС	102	103	106	111	115	120	124	130	136	140	143	
	Вміст RO2 у відхідних газах	RO2	%	6,5	7,0	8,7	9,1	9,3	9,4	9,5	9,7	9,7	9,7	10,3	
	Вміст O2 у відхідних газах	O2	%	9,5	8,6	5,5	4,8	4,5	4,2	4,1	3,8	3,8	3,8	2,7	
	Надлишок повітря у відхідних газах	$\alpha_{гх}$	-	1,75	1,62	1,32	1,27	1,25	1,23	1,22	1,20	1,20	1,20	1,13	
	Масова концентрація CO при $\alpha=1$	$Ca=1CO$	мг/м ³	64,0	64,4	55,6	55,7	57,3	58,8	62,1	65,9	73,3	76,9	81,5	
	Масова концентрація NOx при $\alpha=1$	$Ca=1NO_x$	мг/м ³	230	222	184	187	191	193	196	199	203	208	202	
	Питомий викид CO	b_{CO}	г/Гкал	67,8	68,0	58,3	58,5	60,2	61,8	65,5	69,7	77,7	81,7	86,4	
	Питомий викид NOx	b_{NOx}	г/Гкал	244,0	234,3	193,4	195,9	200,6	202,6	207,0	210,4	214,9	220,5	214,3	
	Секундний викид CO	M_{CO}	г/с	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25	0,27	
	Секундний викид NOx	M_{NOx}	г/с	0,34	0,34	0,33	0,38	0,41	0,45	0,50	0,56	0,62	0,67	0,68	
ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧ- НІ ПОКАЗНИКИ	Втрата тепла з відхідними газами приведена	$q_{2пр}$	%	5,484	5,265	4,544	4,635	4,770	4,938	5,105	5,359	5,638	5,824	5,684	
	Втрата тепла від хімінедопалу	q_3	%	0,016	0,016	0,014	0,014	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,021	
	Втрата тепла в навколишнє середовище	q_5	%	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	
	К.К.Д. котла "брутто"	$\eta_{бпр}$	%	94,450	94,669	95,392	95,301	95,166	94,998	94,830	94,575	94,293	94,107	94,245	
	Питома витр. умов.палива на вироб. 1 Гкал	$b_{ум}$	кг/Гкал	151,3	150,9	149,8	149,9	150,1	150,4	150,6	151,1	151,5	151,8	151,6	

- ПРИМІТКА:
1. Теплопродуктивність котла визначена розрахунком по витраті мережної води та її температури на вході в котел і на виході з нього
 2. Дозволяється відхилення параметрів в процесі експлуатації + 2,5%
 3. Режимна карта складена при $Q_{\text{р}}=8201$ ккал/нм³, густині газу $\rho_{\text{г}}=0,7323$ кг/м³, температури холодного повітря 25°С.
 4. Роботу котла вести по доданій режимній карті та графіку співвідношення "Паливо-повітря"

Режимну карту склав:
Провідний інженер КД ЦНВ КТМ
"Контроль та діагностика"

Начальник ВТС КТМ
Начальник ВТЕ
Начальник РК "Веркон"

О.Б. Александренко
В.М. Махуренко
І.В. Вердєнський

РЕЖИМНА КАРТА (Літній період)
ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА КВ-ГМ-20 ст.№ 8 РК "ВЕРКОН"
(ПАЛИВО - ПРИРОДНИЙ ГАЗ)

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Головний інженер СВГ КТМ
 А.І.Васильєв
 20 березня 2017р.

	НАЙМЕНУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ	ПОЗНА- ЧЕННЯ	РОЗМІР- НІСТЬ	10	11	13	15	17	19
				10	11	13	15	17	19
ВОДА	Теплопродуктивність котла	$Q_k^{бр}$	Гкал/год	2,06	2,26	2,67	3,08	3,49	3,89
	Витрата мережної води	$D_{мв}$	т/год	247	247	247	247	247	247
	Тиск мережної води на вх. в котел	$P_{мв}$	кгс/см ²	10	10	10	10	10	10
	Тиск мережної води на вих. з котла	$P_{мв}''$	кгс/см ²	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	Температура мережної води на вх. в котел	$T_{мв}$	оС	70	70	70	70	70	70
	Температура мережної води на вих. з котла	$T_{мв}''$	оС	78,3	79,2	80,8	82,5	84,1	85,8
ПАЛИВО	Тиск газу на пальник (манометр)	P_r	х10кПа	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
	Витрата газу по зворотному балансу	$V_{гзв}$	нм ³ /год	265	290	342	393	444	495
ПОВІТРЯ	Тиск повітря на котел	$P_{дв}$	кПа	0,050	0,053	0,063	0,075	0,087	0,095
ВІДХІДНІ ГАЗИ	Розрідження в топці	S_t	кгс/м ²	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Приведена температура відхідних газів	$t_{вг.пр}$	оС	89	89	91	92	95	96
	Вміст CO ₂ у відхідних газах	CO_2	%	5,7	6,5	6,9	7,5	8,7	9,0
	Вміст O ₂ у відхідних газах	O_2	%	10,8	9,4	8,8	7,7	5,5	5,0
	Надлишок повітря у відхідних газах	α_{yx}	-	1,95	1,72	1,64	1,52	1,32	1,28
	Масова концентрація CO при $\alpha=1$	$Ca=1CO$	мг/м ³	28,8	32,4	39,5	40,9	42,1	45,9
	Масова концентрація NO _x при $\alpha=1$	$Ca=1NO_x$	мг/м ³	136	142	165	170	156	161
	Питомий викид CO	b_{CO}	г/Гкал	30,4	34,0	41,4	42,8	43,9	47,8
	Питомий викид NO _x	b_{NO_x}	г/Гкал	143,2	149,3	172,6	177,6	162,7	168,1
	Секундний викид CO	M_{CO}	г/с	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
	Секундний викид NO _x	M_{NO_x}	г/с	0,08	0,09	0,13	0,15	0,16	0,18
	Втрата тепла з відхідними газами приведена	$q_{2пр}$	%	5,089	4,547	4,544	4,279	3,946	3,927
ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧ- НІ ПОКАЗНИКИ-	Втрата тепла від хімінедопалу	q_3	%	0,007	0,008	0,010	0,010	0,010	0,011
	Втрата тепла в навколишнє середовище	q_5	%	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	К.К.Д. котла "брутто"	$\eta_{кпр}^{бр}$	%	94,854	95,395	95,396	95,661	95,993	96,011
	Питома витр. умов.палива на вироб. 1 Гкал	$b_{ум}$	кг/Гкал	150,6	149,8	149,8	149,3	148,8	148,8

- ПРИМІТКА:**
1. Теплопродуктивність котла визначена розрахунком по витраті мережної води та її температури на вході в котел і на виході з нього
 2. Дозволяється відхилення параметрів в процесі експлуатації + 2.5%
 3. Режимна карта складена при $Q_p=8190$ ккал/нм³, густині газу $\rho_g=0,7365$ кг/м³, температурі холодного повітря 25°С..
 4. Роботу котла вести по доданій режимній карті та графіку співвідношення "Паливо-повітря"

Режимну карту склав:
 Провідний інженер КД ЦНІВ-КТМ
 "Контроль та діагностика"

О.П. Осьмачкін

Начальник ВТС КТМ
 Начальник ВТЕ
 Начальник РК "Веркон"

О.Б. Александренко
 В.М. Махуренко
 І.В. Верденський

Додаток Г

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Мухіна Михайла Сергійовича
(прізвище, ім'я, по-батькові студента)

№ п/з	Найменування праць	Рукописні або друковані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	2	3	4	5	6
1.	Основні особливості переведення вугільного котла на спалювання природного газу	Друк	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів, студентів, м. Київ, 24-27 квітня 2018 р. У 2 т. – К.:КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – Т. 1. –с. 214 (24 - 27 квітня 2019 р.)	1 стор.	Варламов Г. Б.
2.	Повышение энерго-экологических показателей эксплуатации угольного котла за счет перевода на природный газ	Друк	VI Международная научно – практическая конференция: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» Астана, 16 марта 2018 р. /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Астана, 2018. – 768с.	4 стор.	Варламов Г. Б.
3.	Реконструкція вугільного парового котла з переведенням на спалювання природного газу	На правах рукопису	Робота на XVIII Всеукраїнський конкурс «Молодь - енергетиці України – 2018-2019: відкритий конкурс молодих вчених та енергетиків»	36 стор.	Варламов Г.Б.

4.	Аеродинамічні та теплові переваги роботи камер згорання газових турбін при застосуванні мікрофакельної технології газоспалювання	Друк	Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» - 2018. -№4.-с.67-75	8 стор.	Варламов Г.Б. Романова К.О.
5.	Особливості аеродинамічних та теплових процесів у топці котла КВГМ-20 при роботі штатного пальника РГМГ-20	Друк	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів, студентів, м. Київ, 23-26 квітня 2019 р. У 2 т. – К.:КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – Т. 1. –с. 254 (23 - 26 квітня 2019 р.)	1 стор	Варламов Г.Б.
6.	Проблема коефіцієнта корисної дії (ККД) в енергетиці	Друк	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів, студентів, м. Київ, 23-26 квітня 2019 р. У 2 т. – К.:КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – Т. 1. –с. 255 (23 - 26 квітня 2019 р.)	1 стор	Куделя П.П.
7.	Сучасні виклики техногенно-екологічній безпеці теплоенергетики України – нові горизонти	Друк	Збірник наукових статей «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» - 2019. – с. 46-51	5 стор.	Варламов Г.Б. Романова К.О. Коваленко Г.Д.
8.	Вдосконалення методології енерго-екологічного аналізу енергетичних об'єктів ідентифікацією їх фактичних експлуатаційних характеристик	Друк	Збірник наукових статей «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» - 2019. – с. 251-255	4 стор.	Варламов Г.Б. Романова К.О. У Цзунянь

9.	Результаты модернизации горелочной системы котла КВГМ-20	Друк	VII Международная научно – практическая конференция: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» Астана, 16 марта 2019 р. /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Астана, 2019. – 768с.	4 стор.	Варламов Г.Б.
10.	Технические решения по улучшению энерго-экологических показателей котлов с использованием микрофакельных горелок	Друк	VIII Международная научно – практическая конференция: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» Астана, 20 марта 2020 р. /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Астана, 2020. – 735с.	5 стор.	Варламов Г.Б. У Цзунянь

Автор

М.С. Мухін
(ініціали, прізвище)

Додаток Д
Результати перевірки на академічний плагіат



Власник документу:
Гавриш Андрій Сергійович

ID перевірки:
1002235127

Дата перевірки:
23.04.2020 10:46:34 GMT+0

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
23.04.2020 11:01:04 GMT+0

ID користувача:
77138

Назва документу: Mukhin_magistr

ID файлу: 1002248807 Кількість сторінок: 69 Кількість слів: 21108 Кількість символів: 119983 Розмір файлу: 3.23 MB

5.71% Схожість

Найбільша схожість: 1.9% з джерело бібліотеки. ID файлу: 8178958

2.4% Схожість з Інтернет джерелами

38

Page 71

4.65% Текстові збіги по Бібліотеці акаунту

67

Page 71

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

0.09% Вилучень

Джерела менше, ніж 10 слів автоматично вилучено

0% Вилучення з Інтернету

22

Page 72

0.09% Вилученого тексту з Бібліотеки

56

Page 72

Підміна символів

Заміна символів

52